

THESE

présentée

A L'U.E.R. DES SCIENCES DE LA NATURE DE L'UNIVERSITE DE NANTES

par

Didier RENAUD

pour obtenir le grade de

DOCTEUR ES - SCIENCES NATURELLES

ETUDE ELECTROPHYSIOLOGIQUE

DE LA DIFFERENCIATION CARDIAQUE CHEZ L'EMBRYON DE POULET

Illustration du mémoire

Soutenue le 26 Juin 1973 devant la Commission d'examen

M. G. LE DOUARIN, Professeur

Président

Mme N. LE DOUARIN, Professeur

M. E. CORABOEUF, Professeur

M. Y.M. GARGOUÏL, Professeur

Examineurs

sous la présidence d'honneur de M. Et. WOLFF
Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut

Digitized by the Internet Archive
in 2026

THESE

présentée

A L'U.E.R. DES SCIENCES DE LA NATURE DE L'UNIVERSITE DE NANTES

par

Didier RENAUD

pour obtenir le grade de

DOCTEUR ES - SCIENCES NATURELLES

ETUDE ELECTROPHYSIOLOGIQUE

DE LA DIFFERENCIATION CARDIAQUE CHEZ L'EMBRYON DE POULET

Illustration du mémoire

Soutenue le 26 Juin 1973 devant la Commission d'examen

M. G.	LE DOUARIN, Professeur	Président
Mme N.	LE DOUARIN, Professeur	Examineurs
M. E.	CORABOEUF, Professeur	
M. Y.M.	GARGOUÏL, Professeur	

sous la présidence d'honneur de M. Et. WOLFF
Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut

FIGURE 1

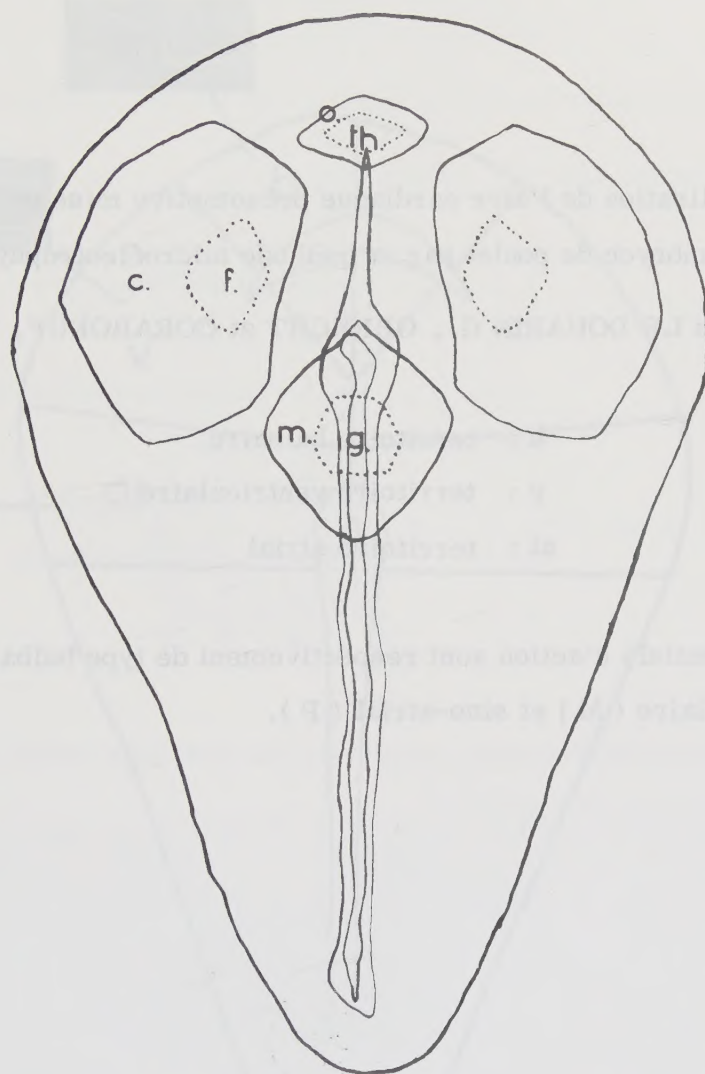
Potentialités histogénétiques du blastoderme d'embryon de poulet au stade du prolongement céphalique.

(d'après WILLIER et RAWLES, 1935)

- O : territoire présomptif oculaire
- th : territoire présomptif de la thyroïde
- m : territoire présomptif du mésonéphros
- g : territoire présomptif des gonades
- c : territoire cardiaque
- f : territoire hépatique



Potentialités histogénétiques
au stade prolongement céphalique



D'après Willier et Rawles

Figure 1

FIGURE 2

FIGURE 2

Régionalisation de l'aire cardiaque présomptive mise en évidence
chez l'embryon de poulet par la méthode microélectrophysiologique.

(d'après LE DOUARIN G. , OBRECHT et CORABOEUF, 1966)

b : territoire bulbaire
v : territoire ventriculaire
at : territoire atrial

Les potentiels d'action sont respectivement de type bulbaire (A),
ventriculaire (M) et sino-atrial (P).

Régionalisation des aires cardiaques

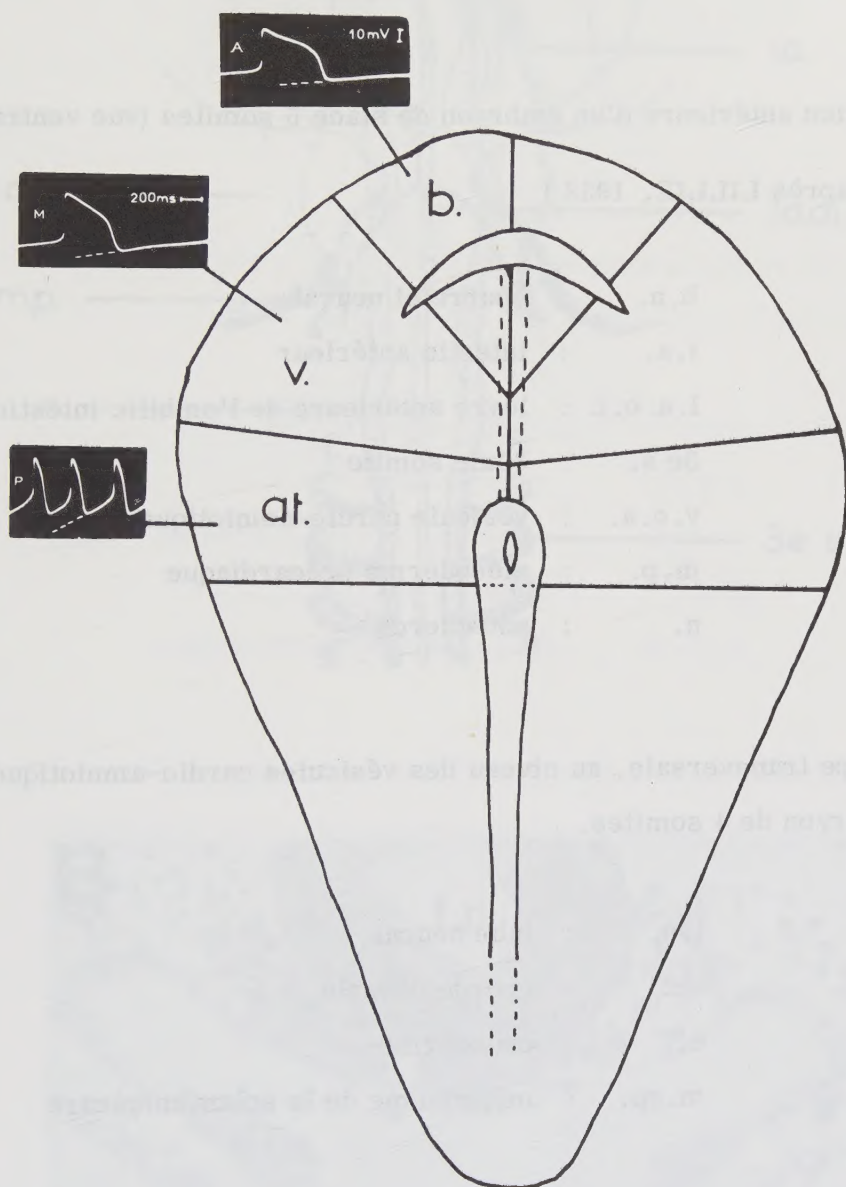


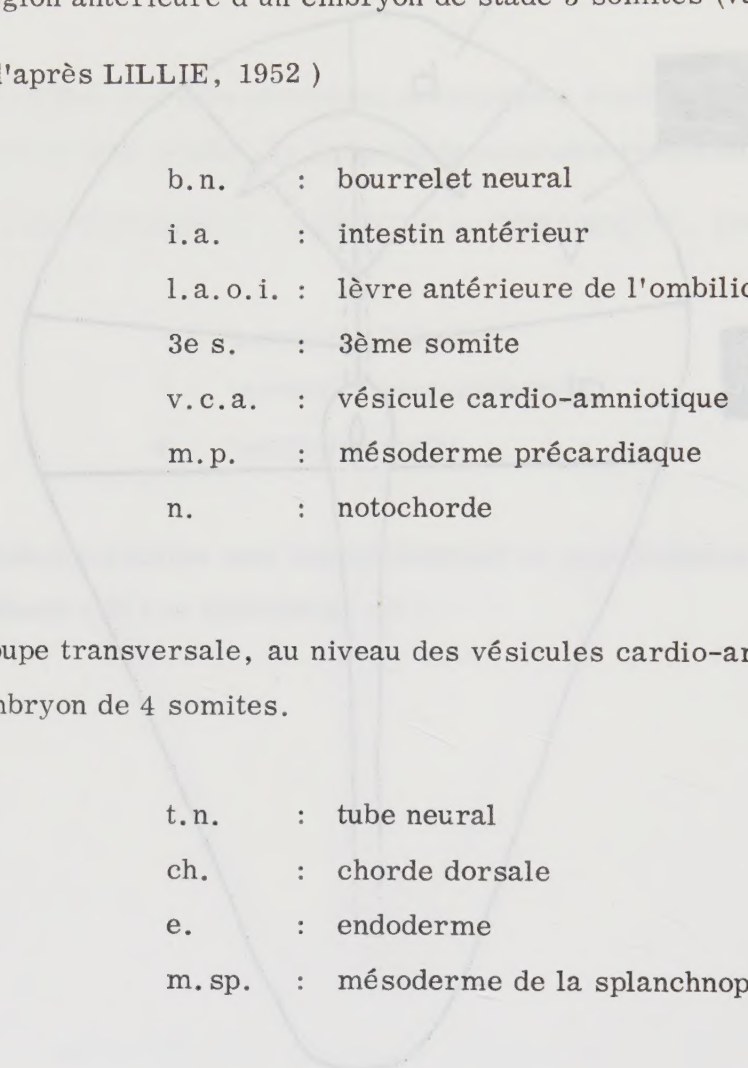
FIGURE 2

FIGURE 3

FIGURE 3

A. - Région antérieure d'un embryon de stade 5 somites (vue ventrale).

(d'après LILLIE, 1952)



b.n.	: bourrelet neural
i.a.	: intestin antérieur
l.a.o.i.	: lèvre antérieure de l'ombilic intestinal
3e s.	: 3ème somite
v.c.a.	: vésicule cardio-amniotique
m.p.	: mésoderme précardiaque
n.	: notochorde

B. - Coupe transversale, au niveau des vésicules cardio-amniotiques, d'un embryon de 4 somites.

t.n.	: tube neural
ch.	: chorde dorsale
e.	: endoderme
m.sp.	: mésoderme de la splanchnopleure

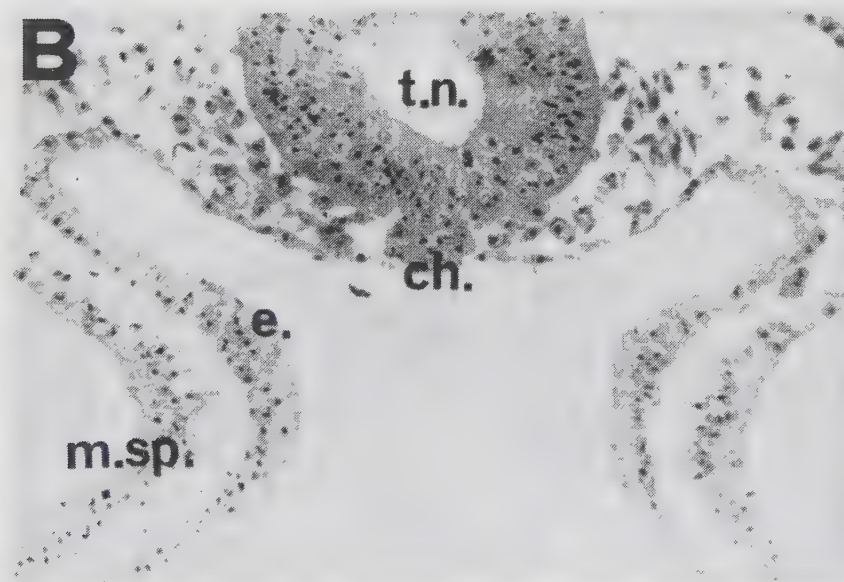
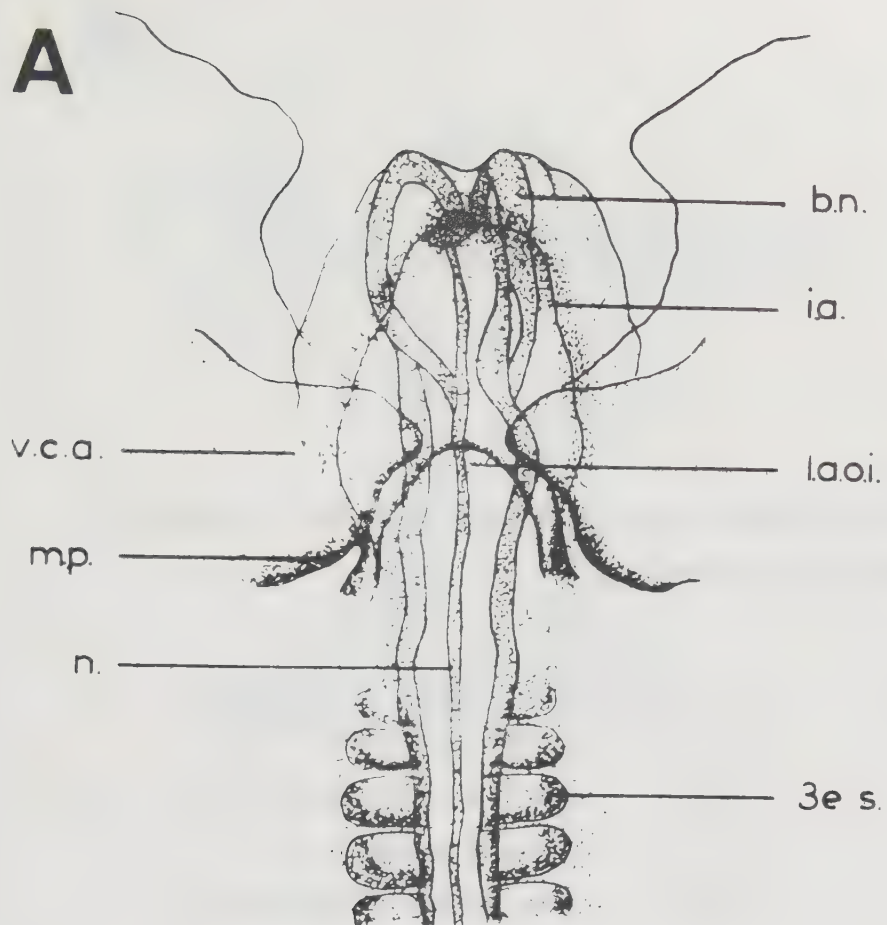


FIGURE 3

FIGURE 4

A. - Schéma de la partie antérieure (vue ventrale) d'un embryon de poulet de 7 somites.

CO.	:	tube cardiaque
I. A.	:	intestin antérieur
V. A. C.	:	vésicule cardio-amniotique
V. O.	:	vésicule optique
V. O. M.	:	veine omphalomésentérique

B. - Coupe transversale au niveau de l'ébauche cardiaque d'un embryon de 6 somites.

e.	:	endocarde
e. m.	:	épimyocarde

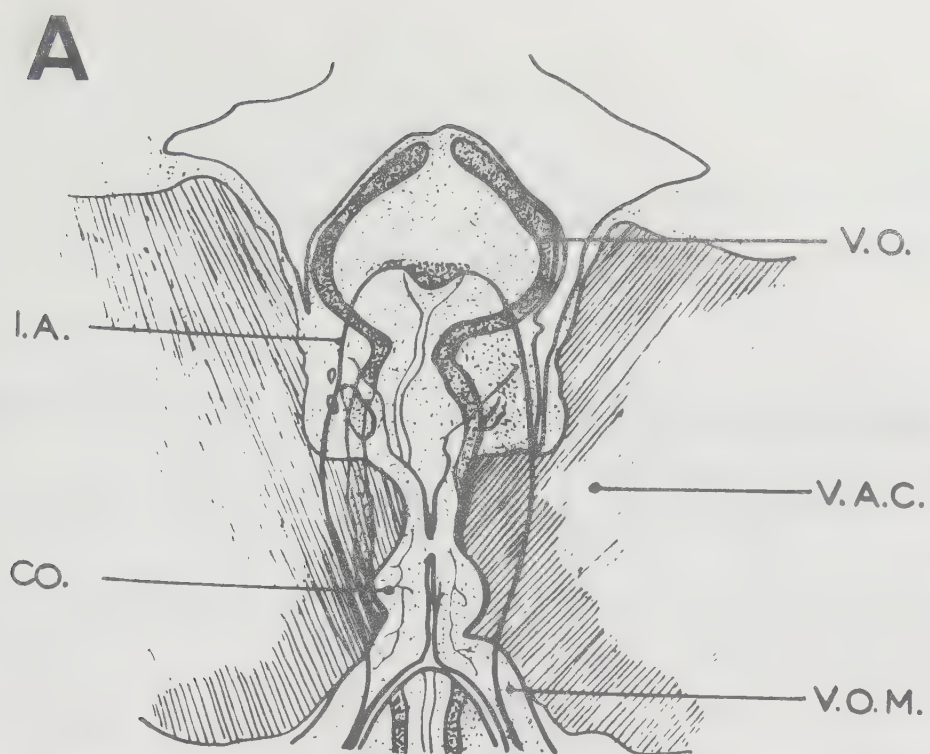


FIGURE 4

FIGURE 5

A. - Région antérieure d'un embryon de stade 15 somites (vue ventrale).

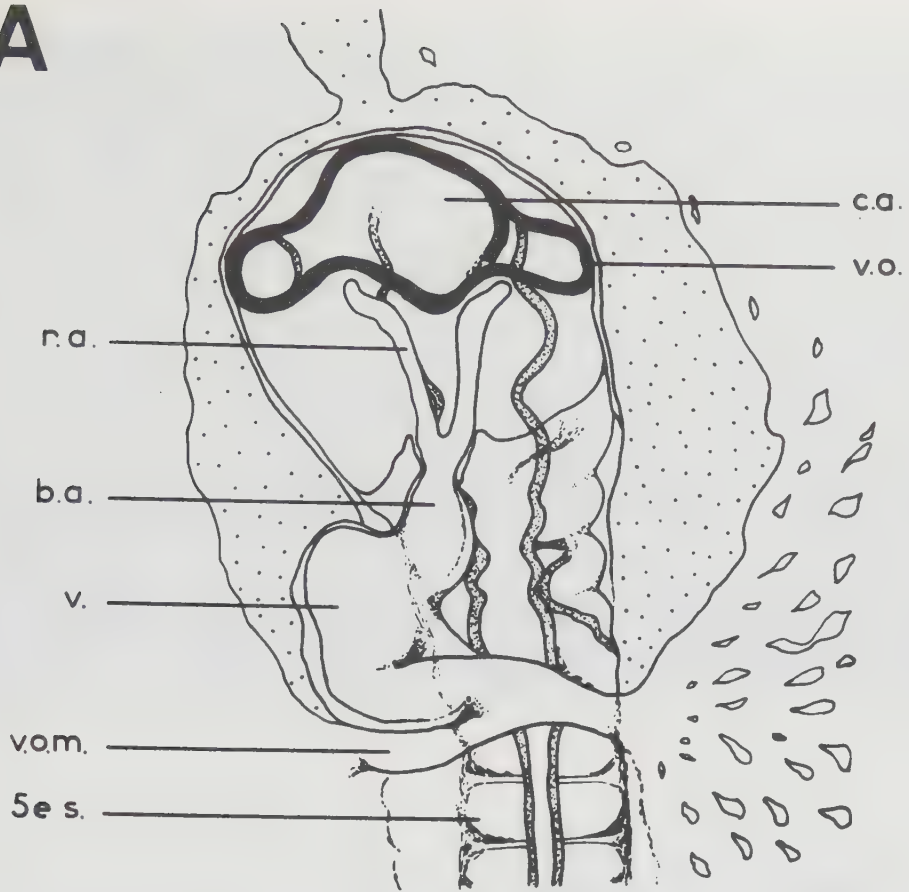
(d'après LILLIE, 1952)

c.a.	:	cerveau antérieur
v.o.	:	vésicule optique
r.a.	:	racine aortique
b.a.	:	bulbe aortique
v.	:	ventricule
v.o.m.	:	veine omphalo-mésentérique
5e s.	:	5ème somite

B. - Coupe transversale, au niveau de l'ébauche cardiaque, d'un embryon de 15 somites.

e.	:	endocarde
g.c.	:	gelée cardiaque
e.m.	:	épimyocarde

A



B



FIGURE 5

FIGURE 6

Observations ultrastructurales communiquées par G. LE DOUARIN.

A. - Myofilaments dans une cellule précardiaque au stade du repli céphalique transverse.

G. x 60 000

B. - Ultrastructure du myocarde ventriculaire à 4 jours d'incubation.

My. : myofibrille ayant atteint un degré de différenciation par une disposition régulièrement parallèle des myofilaments, des stries Z et une alternance de bandes A et I.

G. x 17 500

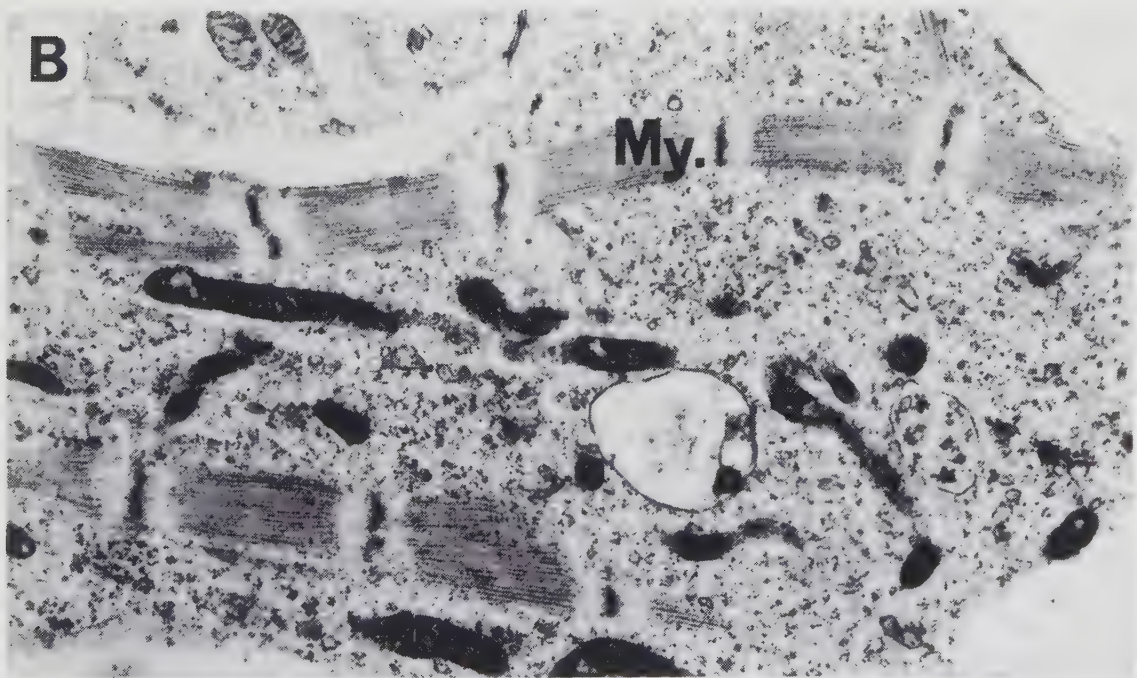
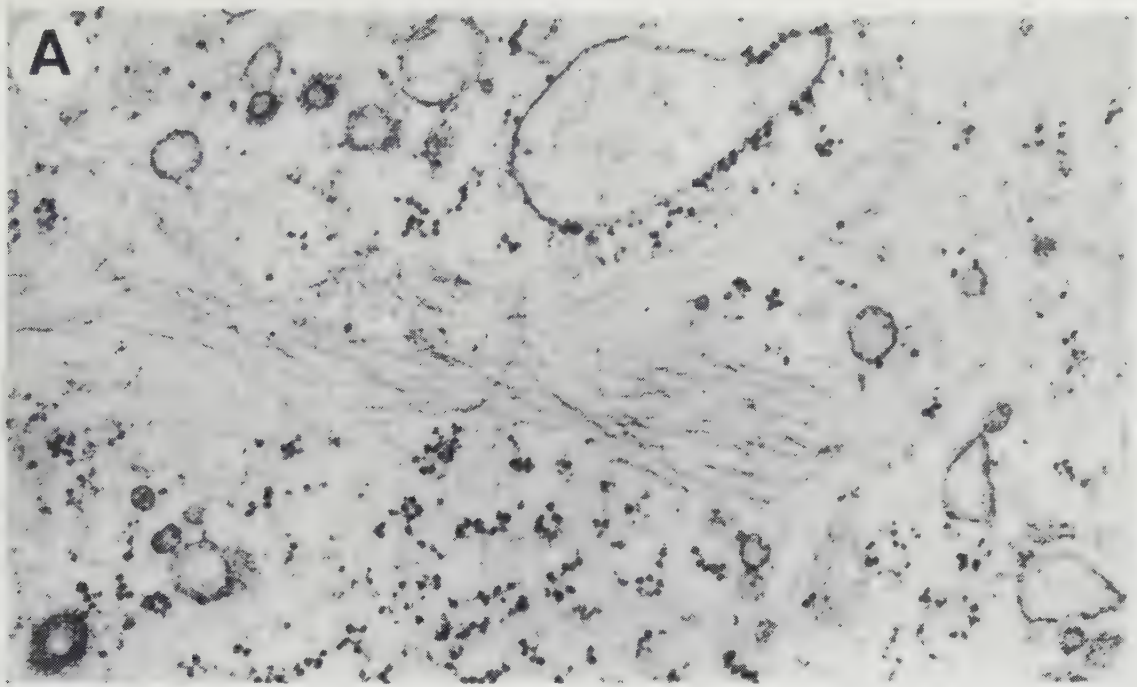


FIGURE 6

FIGURE 7

A. - Schéma de l'activité électrique du coeur des Vertébrés enregistrée en dérivation unipolaire directe.

AB : espace isoélectrique parcouru par le spot lorsque le coeur est au repos.

BC : période d'invasion, l'excitation se rapproche de l'électrode exploratrice.

CD : déflexion intrinsèque, au moment où l'excitation atteint l'électrode.

DE : retour du spot à la ligne de base après le passage de l'onde d'activation.

On obtient ainsi un complexe rapide et une onde lente de repolarisation.

B. - Exemples d'électrogrammes de coeurs embryonnaires de poulet explantés à 4 jours 1/2 d'incubation.

Base de temps: 1 seconde.

a - Electrogramme enregistré une heure après l'explantation.

Rythme moyen: 105 pulsations à la minute. Amplitude de la déflexion intrinsèque: 5 mV.

b - Electrogramme enregistré quatre heures après

l'explantation. Rytme moyen: 180 pulsations à la minute. L'amplitude de l'onde rapide auriculaire (5 mV) est ici supérieure à celle de l'onde ventriculaire (3,8 mV).

(d'après G. LE DOUARIN)

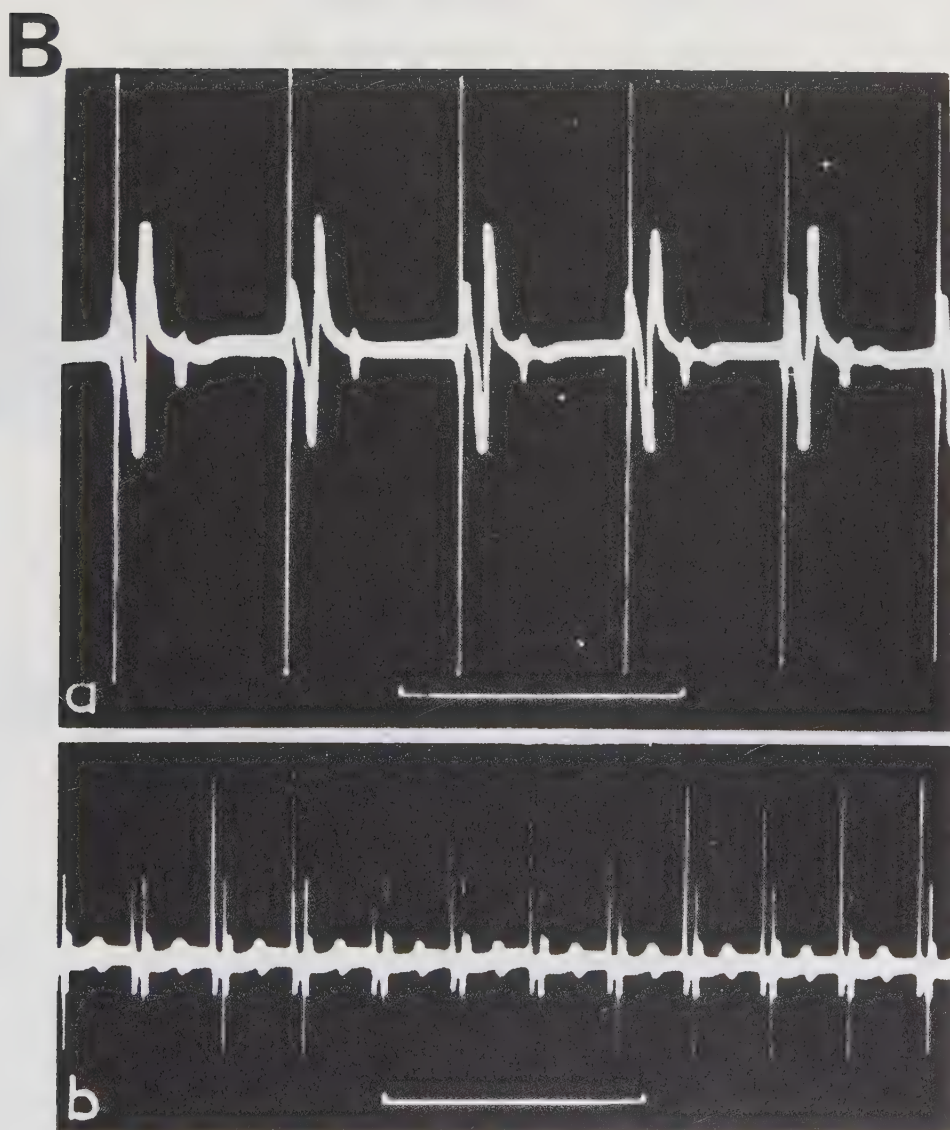
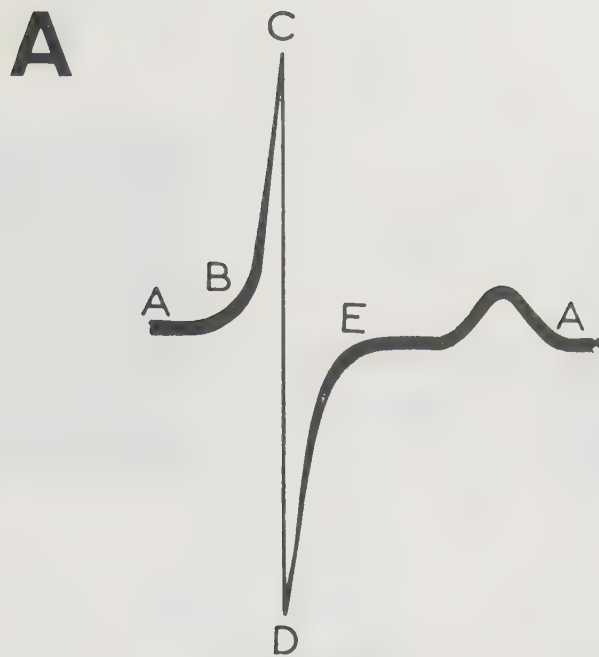


FIGURE 7

FIGURE 8

A. - Activité électrique des différentes régions anatomiques du coeur embryonnaire de 3 jours (vue droite du coeur).

a. a.	:	arcs aortiques
S. V.	:	sinus veineux
O. D.	:	oreillette droite
B. A.	:	bulbe artériel
Cl. de C.	:	canal de Cuvier
v. o. m.	:	veine omphalo-mésentérique
V.	:	ventricule
1	:	potentiel d'action de type atrial (proche du centre d'automatisme)
2	:	potentiel d'action de type atrial (entraîné)
3	:	potentiel d'action de type ventriculaire
4	:	potentiel d'action de type bulbaire.

B. - Potentiel d'action d'un lambeau ventriculaire prélevé chez un embryon de 19 jours d'incubation et stimulé électriquement.

Pour A et B : calibrage horizontal 100 ms,
calibrage vertical 100 mV.

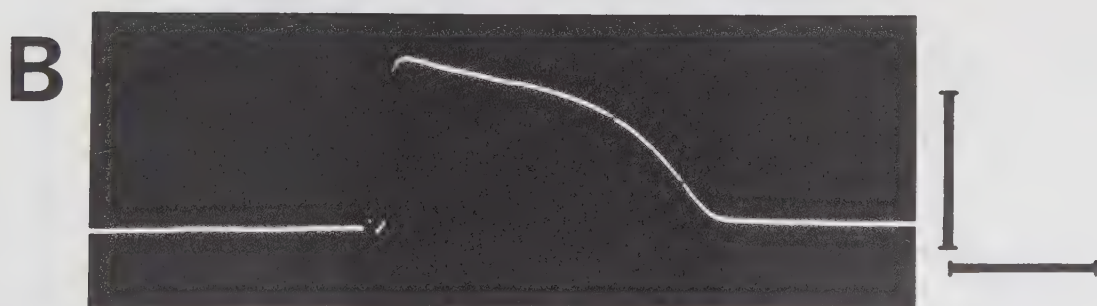
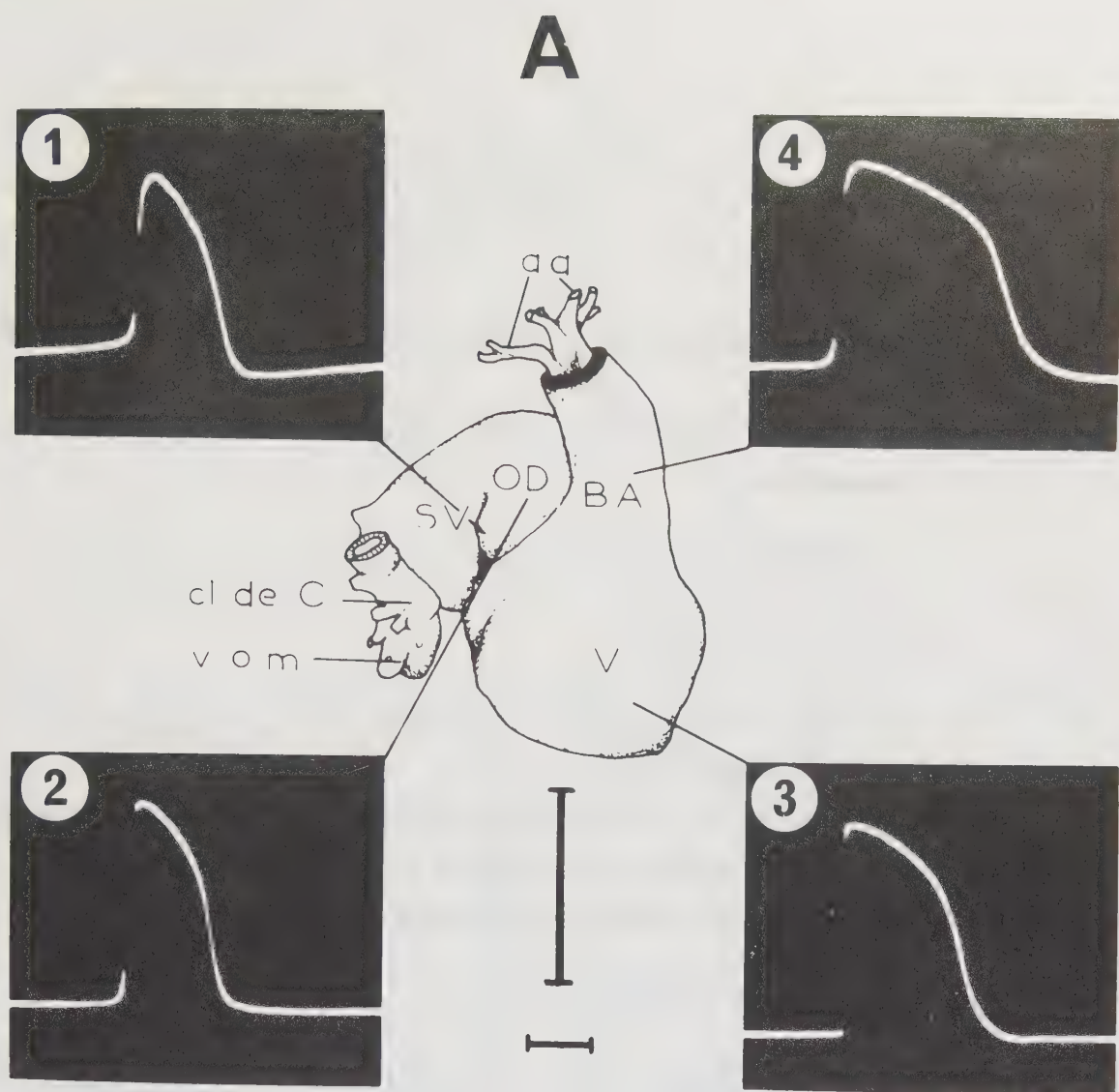


FIGURE 8

FIGURE 9

Représentation schématique de potentiels d'action cardiaques.

A. - Potentiels d'action de différents tissus cardiaques du coeur de Mammifères.

- 1 - noeud de Keith et Flack
- 2 - P.A. auriculaire
- 3 - noeud de Tawara
- 4 - tissu conducteur (fibres de Purkinje)
- 5 - P.A. ventriculaire
- 6 - P.A. d'une préparation automatique de tissu conducteur isolé
- 7 - même préparation que pour 6. P.A. enregistré dans une région éloignée du centre d'automatisme.

(d'après CORABOEUF, 1971)

B. - P.A. ventriculaire de rat.

- 1 - chez l'adulte
- 2 - chez le foetus de 13 jours et demi

(d'après BERNARD et GARGOUÏL, 1963)

C. - P.A. ventriculaire de cobaye.

(d'après CORABOEUF et VASSORT, 1968)

D. - P.A. ventriculaire de grenouille.

(d'après ANTONI et ROTMANN, 1968)

E. - P.A. d'un lambeau ventriculaire de singe (Cercopithécidés)

(d'après WALDEN, KREMER et TRICOCHÉ, 1971)

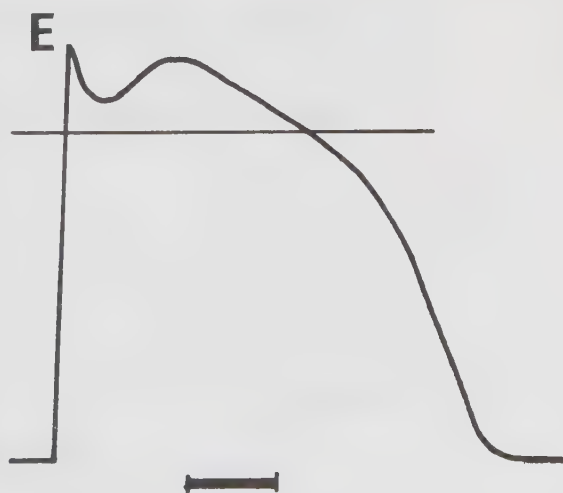
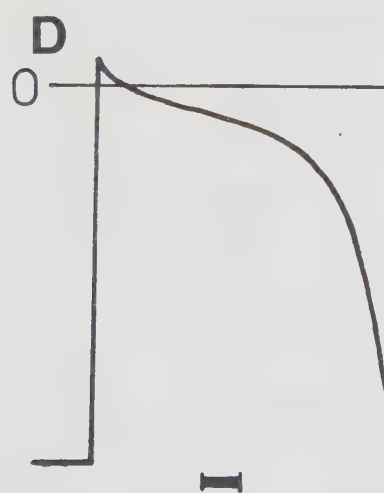
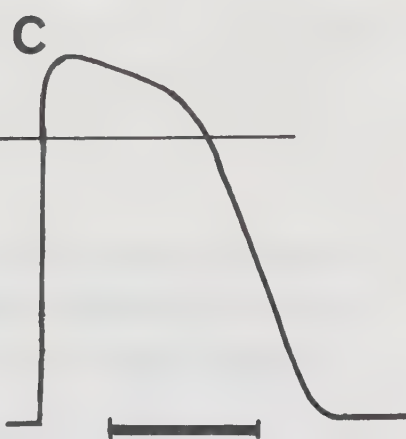
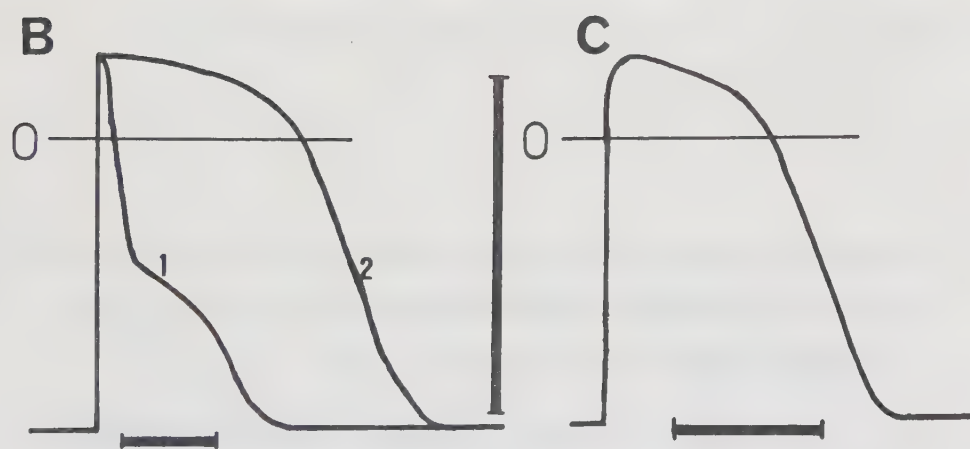
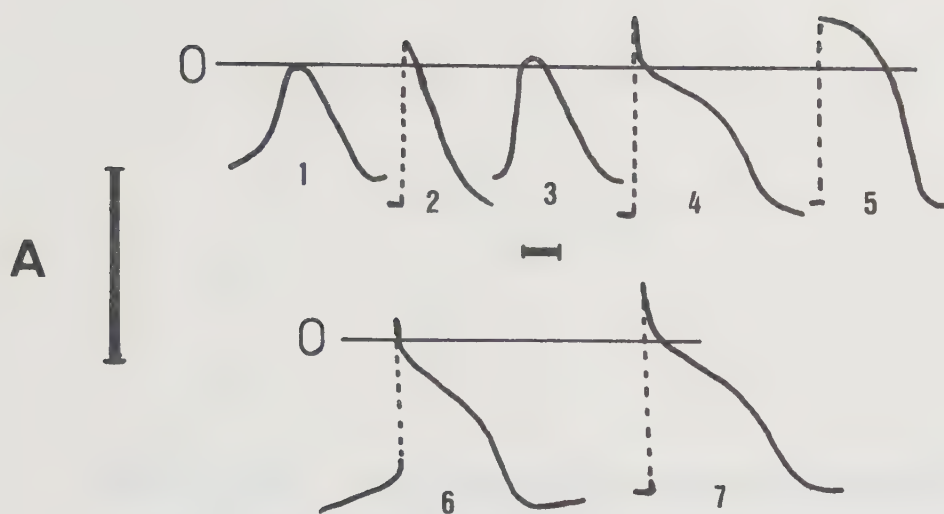


FIGURE 9

FIGURE 10

A. - Evolution des conductances sodique (g_{Na}) et potassique (g_K) au cours de l'activité (V) de l'axone, d'après HODGKIN et HUXLEY (1952).

V_{Na} et V_K représentent respectivement les potentiels d'équilibre du sodium et du potassium.

B. - Evolution hypothétique des conductances ioniques membranaires au cours du potentiel d'action cardiaque compte tenu d'une conductance calcico-sodique ($g_{Ca} + g_{Na}$).

E_{Na} , E_{Ca} et E_K représentent respectivement les potentiels d'équilibre du sodium, du calcium et du potassium.

(d'après CORABOEUF, In: "KAYSER", 1970)

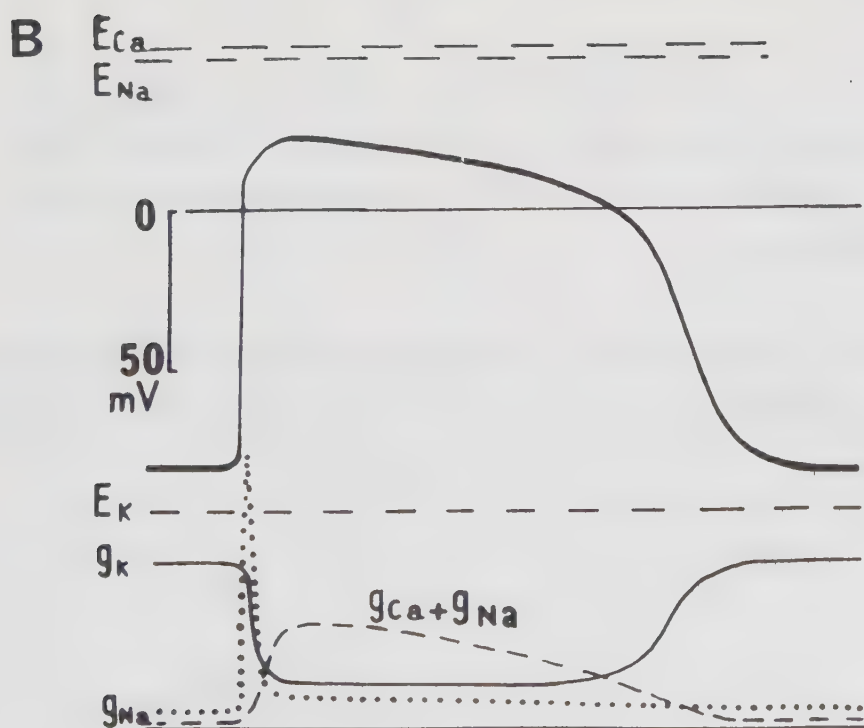
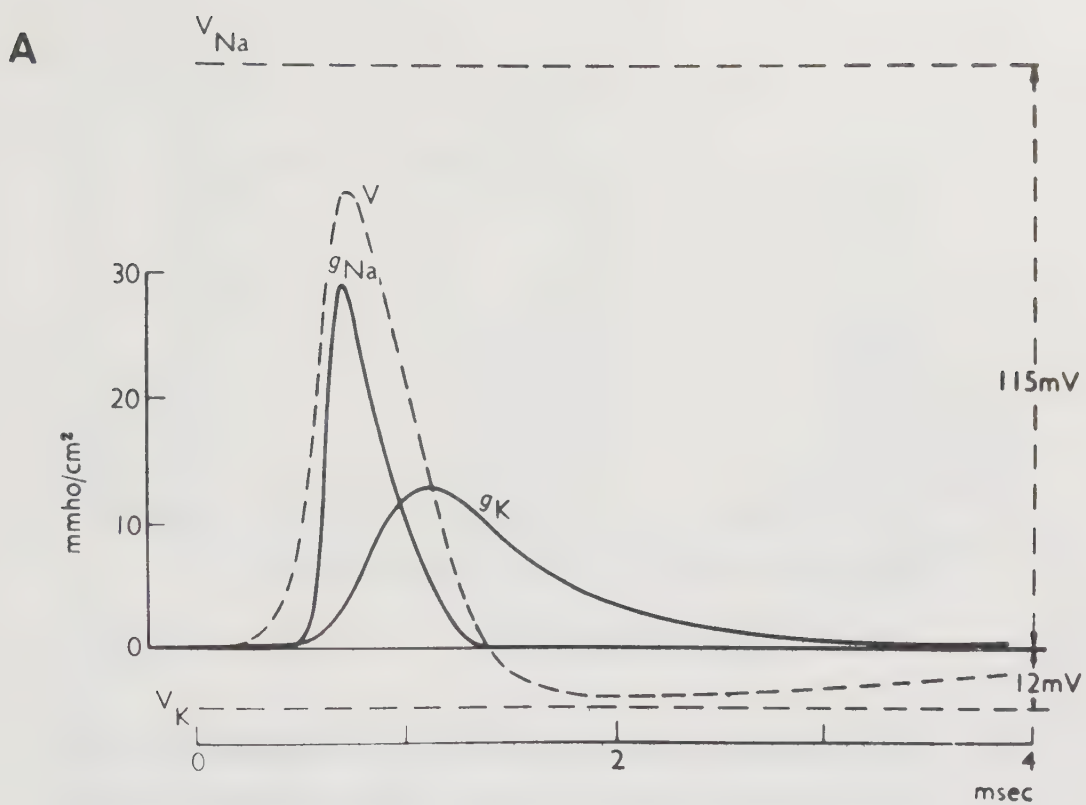


FIGURE 10

FIGURE 11

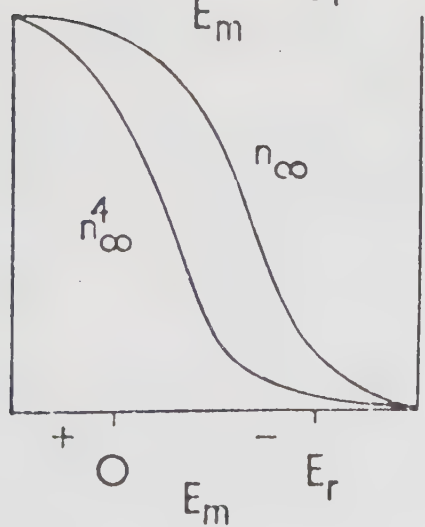
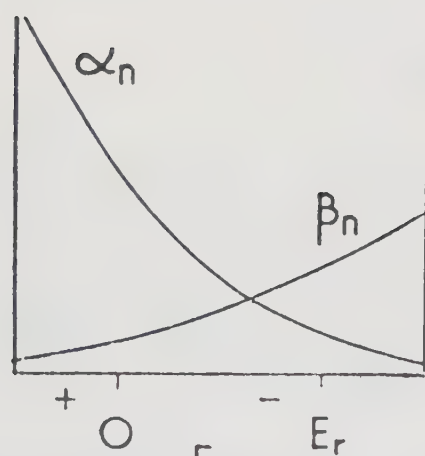
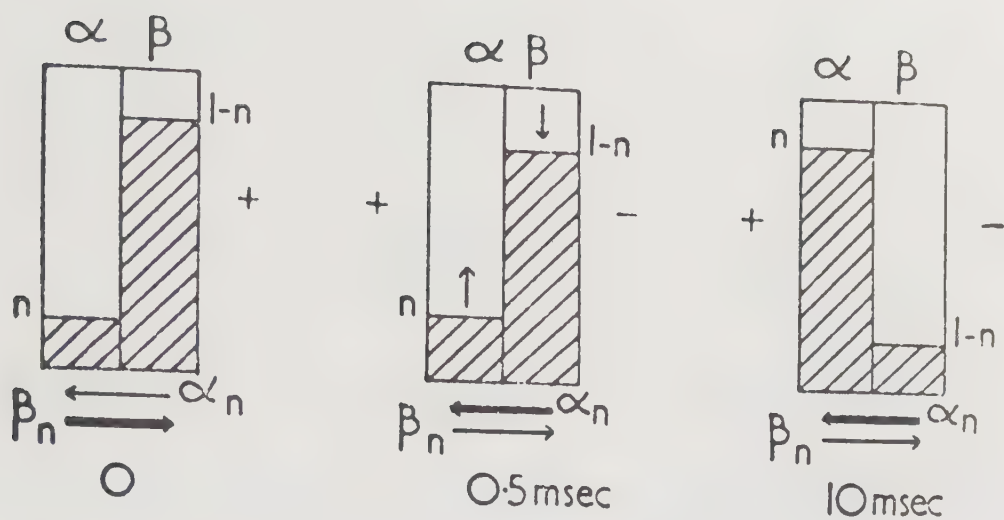
Représentation de l'évolution de la perméabilité potassique en fonction des équations de HODGKIN et HUXLEY.

(d'après NOBLE, 1966)

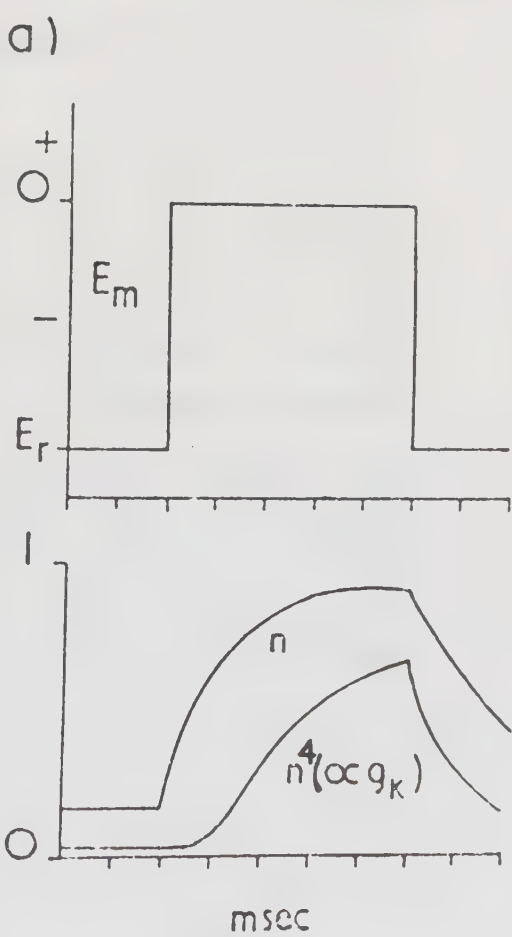
En (a) passage de l'état fermé (β) à l'état ouvert (α), n représentant la proportion des sites membranaires dans chacun de ces états. L'épaisseur des flèches symbolise l'importance relative des coefficients α_n et β_n .

En (b) en haut : évolution de α_n et de β_n en fonction du potentiel membranaire E_m (E_r : potentiel de repos). En bas : évolution de $n \infty$ et $n^4 \infty$ (explications dans le texte, page 21).

En (c) évolution de n et de gK lors d'une brusque dépolarisation. On constate que gK augmente avec un certain retard par rapport à n .



(b)



(c)

FIGURE 11

FIGURE 12

Représentation de l'évolution de la conductance sodique en fonction des équations de HODGKIN et HUXLEY.

(d'après NOBLE, 1966)

Mêmes conventions que pour la figure 11. m est, pour le sodium, l'équivalent de n pour le potassium. Le fait que g_{Na} ne se maintient pas à une valeur fixe lors d'une dépolarisation prolongée rend nécessaire l'introduction d'une variable supplémentaire h d'effet opposé à m (variable d'inactivation).

En (b) en bas : évolution des constantes d'activation et d'inactivation en fonction du potentiel membranaire.

En (c) en bas : évolution dans le temps de m et de n lors d'une dépolarisation. g_{Na} est proportionnel à $m^3 h$.

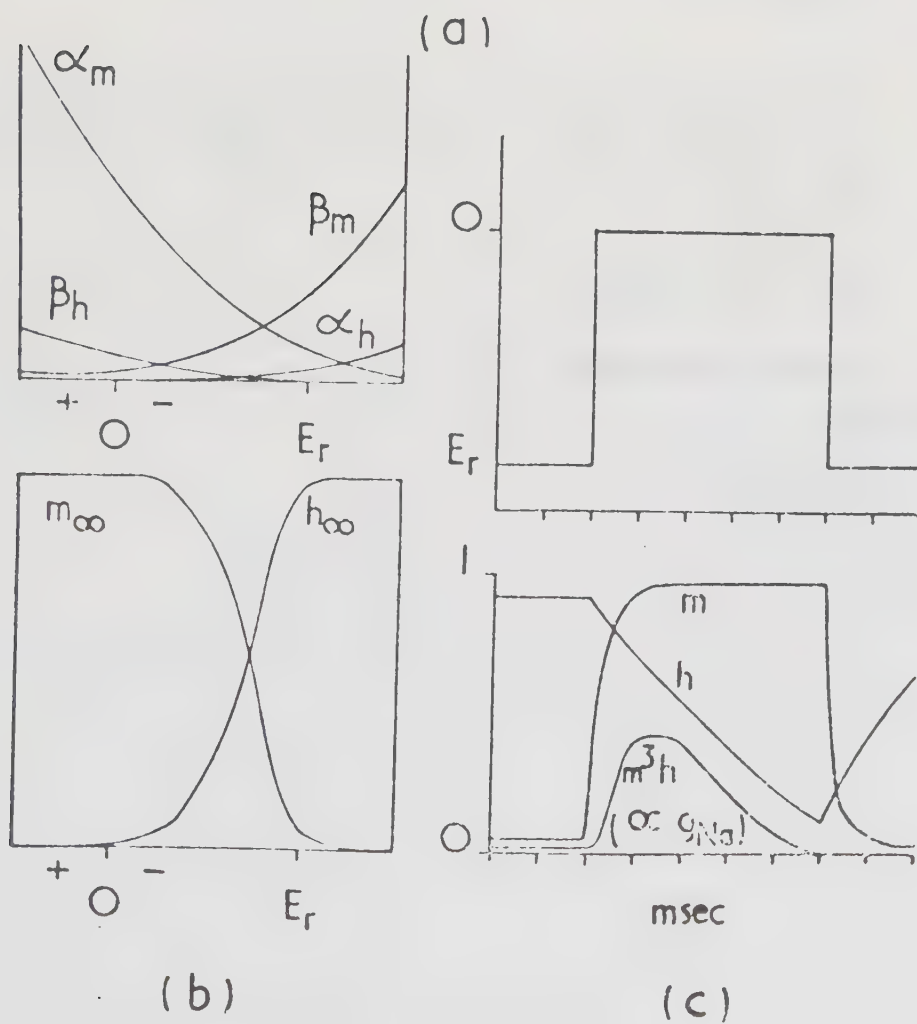
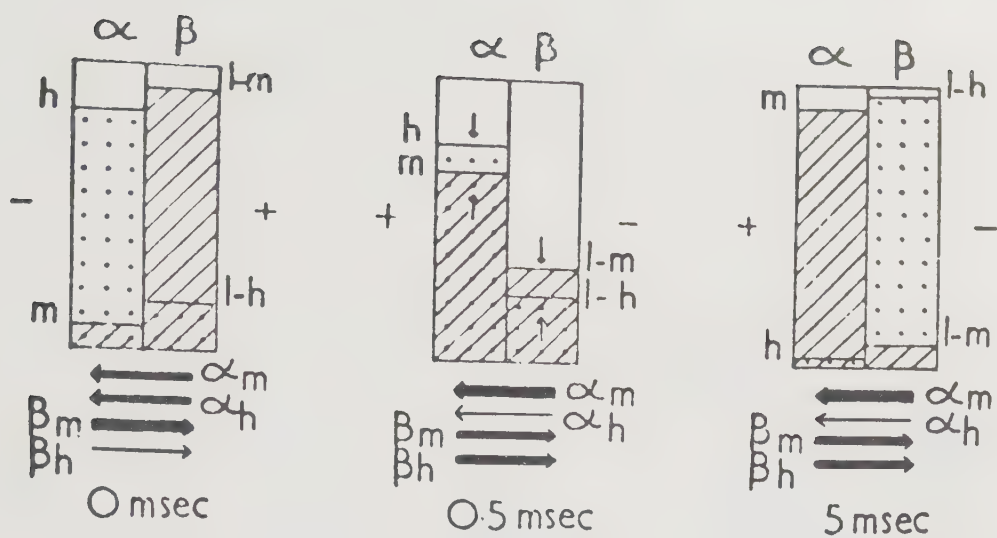


FIGURE 12

FIGURE 13

Evolution de h , n et m en fonction du potentiel membranaire (E) dans deux états différents d'activité spontanée d'une fibre nerveuse myélinisée.

E_r : potentiel de repos.

(d'après BERGMAN, 1969)

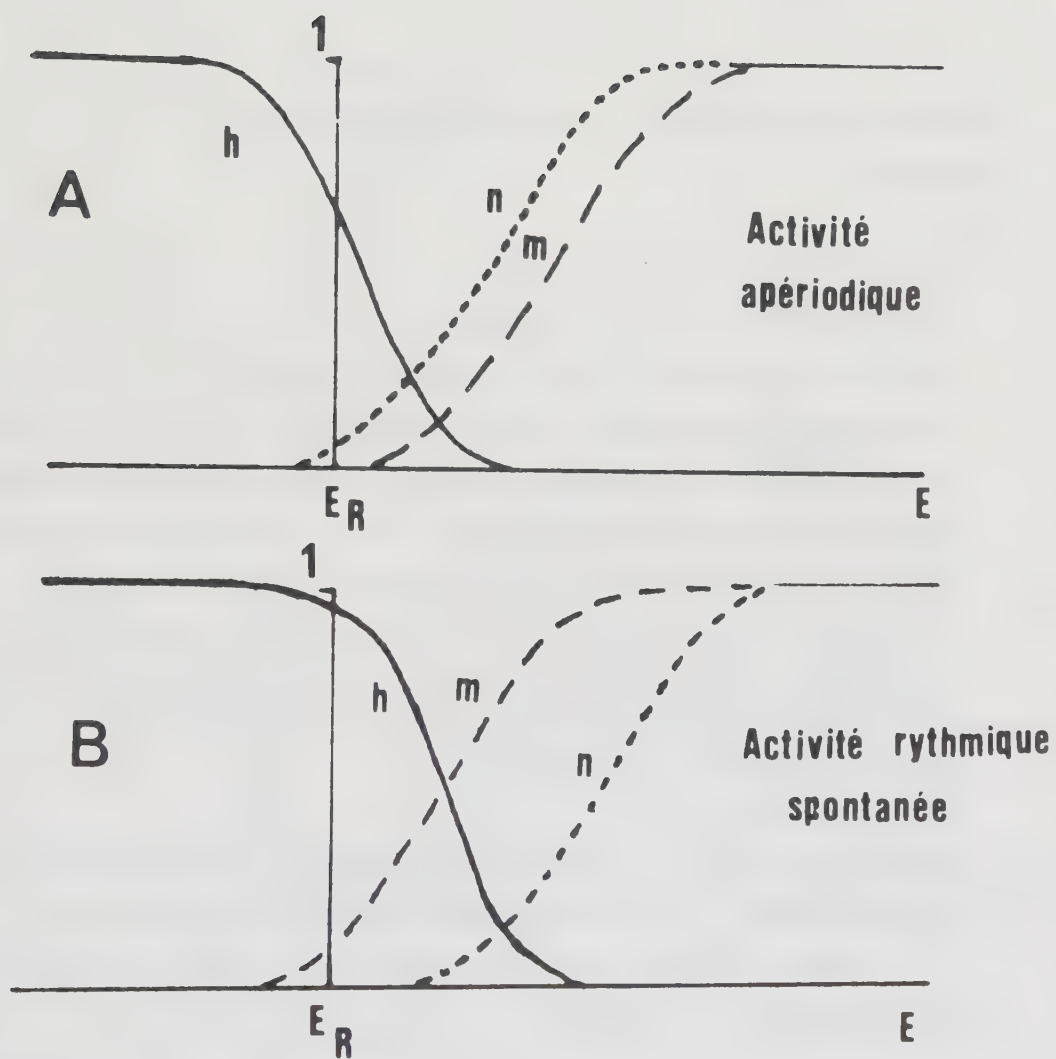


FIGURE 13

FIGURE 14

Courants transmembranaires cardiaques (fibres atriales de grenouille).

- A. - Figure composite et schématique montrant les différents courants que l'on peut enregistrer lorsqu'on soumet une fibre ou un faisceau de fibres cardiaques à une brusque dépolarisation (de 70-80 mV par exemple) représentée par l'échelon supérieur en pointillés. On enregistre alors, (1) une pointe rapide de courant entrant (les courants entrants sont dessinés vers le bas), (2) un courant entrant plus lent qui peut apparaître seul si (1) est bloqué par la tétrodotoxine, (3) un courant sortant faible au départ (rectification anormale) et qui croît avec le temps (rectification retardée) et peut apparaître seul si (1) et (2) sont bloqués simultanément.
- B. - Relations courant (I) - potentiel (V, en mV) correspondant au courant entrant rapide (1), au courant entrant lent (2) et au courant (3); chaque courant entrant est mesuré, pour chaque potentiel imposé, à l'instant de son maximum.
- (d'après ROUGIER et coll., 1969) In "KAYSER T-3" p. 350.

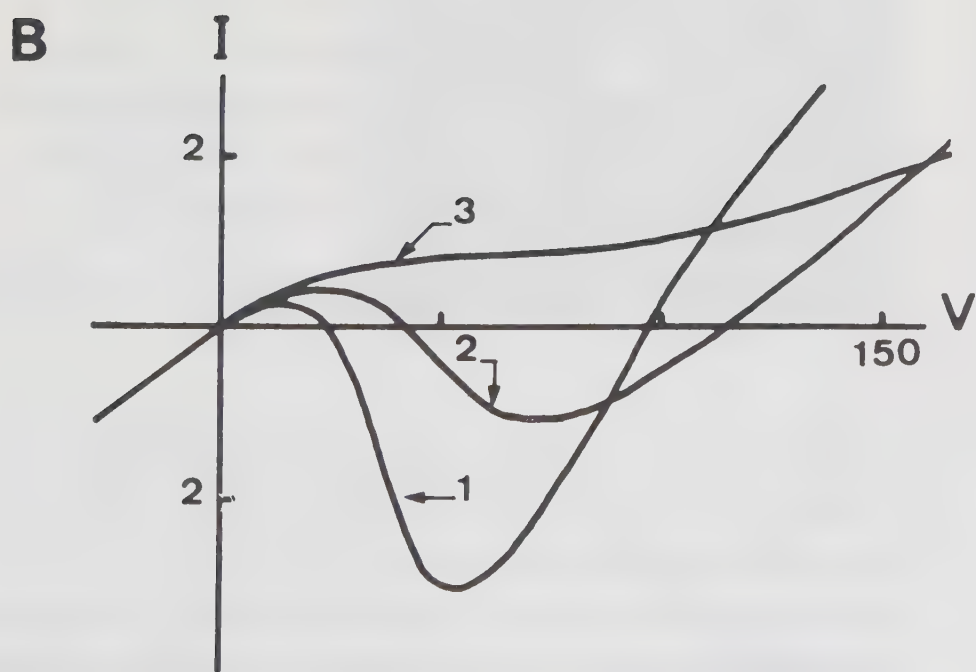
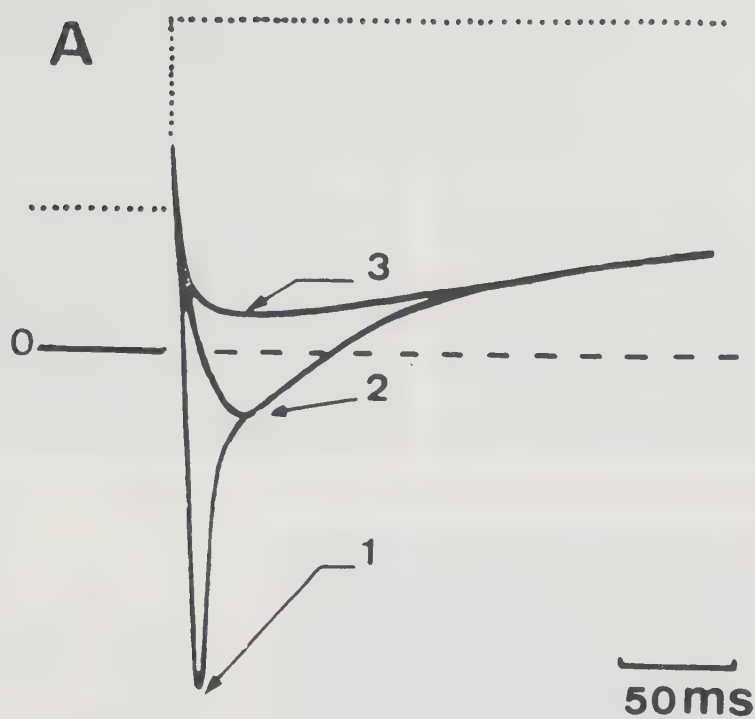


FIGURE 14

FIGURE 15

A. - Activité électrique cellulaire enregistrée lors de l'apparition des battements spontanés de l'ébauche cardiaque de l'embryon de poulet (blastoderme explanté in vitro au stade de 7 somites).
(d'après CORABOEUF, LE DOUARIN et OBRECHT, 1965)

B. - Apparition et évolution de l'automatisme au niveau de l'ébauche cardiaque d'un embryon de poulet explantée in vitro.

a : Schéma du prélèvement

b : potentiels d'action ventriculaires, automatiques et entraînés, enregistrés après quelques heures de culture.

c : après quelques jours de culture, les potentiels d'action du foyer d'automatisme sont de type sino-atrial et tous les potentiels d'action ventriculaires sont de type entraîné.

(d'après OBRECHT-COUTRIS, G. LE DOUARIN et CORABOEUF, 1968)

C. - Différenciation en culture in vitro des catégories cellulaires du myocarde de l'embryon de poulet. Le territoire cardiaque est explanté au stade de 3 somites (a).

En (b), potentiels d'action enregistrés au 2ème jour de culture: potentiels ventriculaires avec les caractéristiques de l'automatisme.

En (c), enregistrement au 5ème jour de culture; tracé supérieur: potentiel d'action sino-atrial; tracés inférieurs: potentiels d'action ventriculaire et bulbaire.

(d'après OBRECHT-COUTRIS, G. LE DOUARIN et CORABOEUF, 1968)

Pour B et C: Calibrage horizontal: 100 ms

Calibrage vertical : 50 mV.

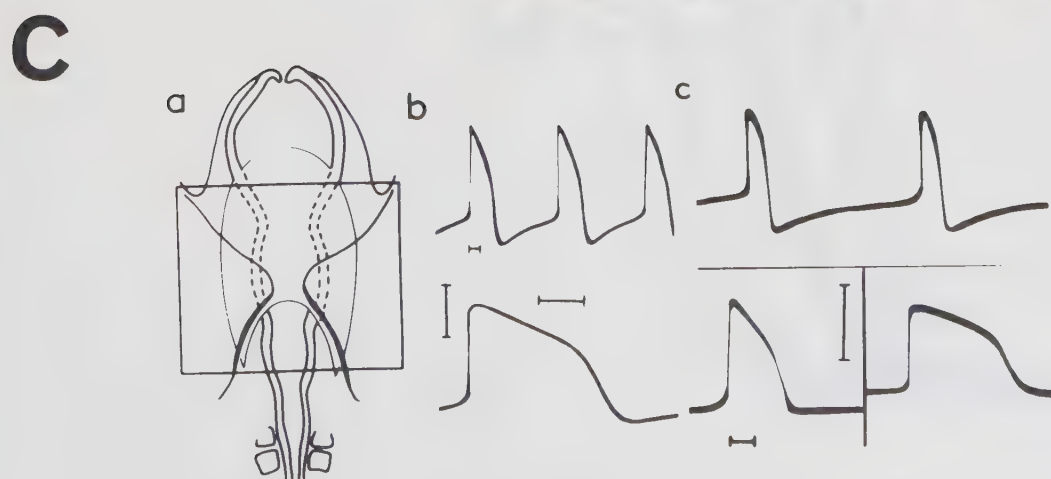
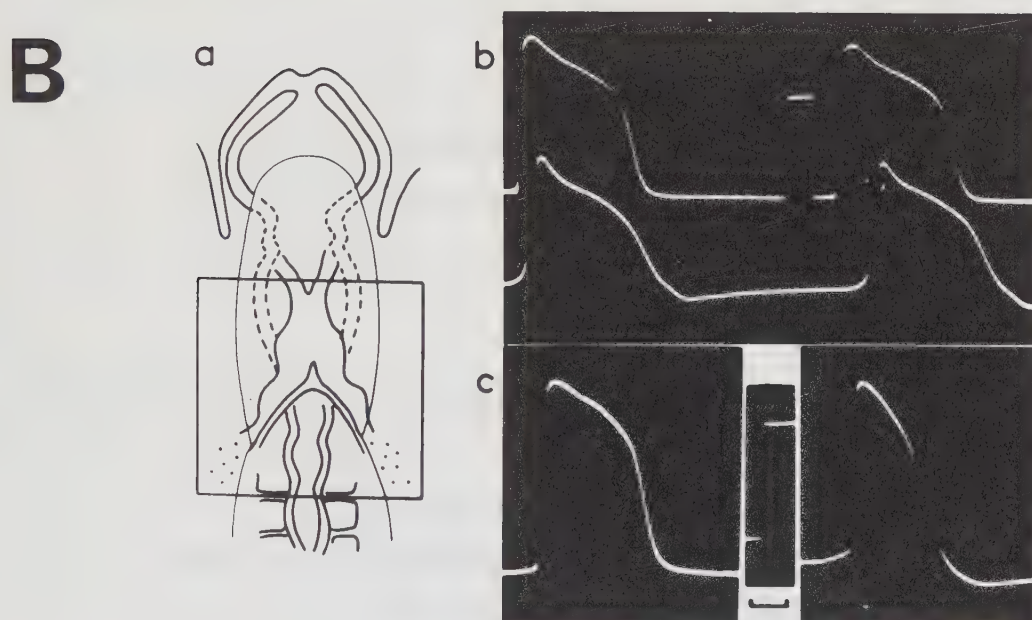
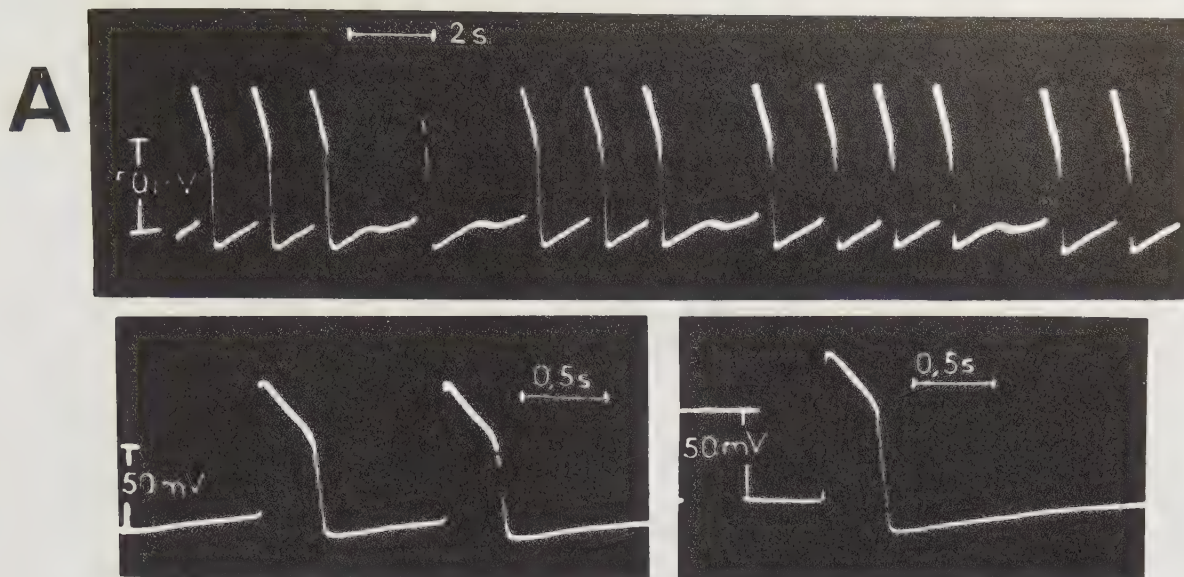


FIGURE 15

FIGURE 16

A. - Valeurs du potentiel membranaire diastolique et de la vitesse de la dépolarisation des P.A. au cours du développement embryonnaire du coeur de rat (de 10 jours à 21 jours).

B. - Activités électriques du myocarde ventriculaire de l'embryon de rat de 13 jours 1/2 à 21 jours 1/2 (traits continus).

- 4 : 13 jours 1/2
- 5 : 14 jours 1/2
- 6 : 15 jours 1/2, 16 jours 1/2, 17 jours 1/2 et 18 jours 1/2
- 7 : 19 jours 1/2
- 8 : 20 jours 1/2 et 21 jours 1/2
- 9 : nouveau-né (d'après GARGOUÏL, 1968)
- 10 : adulte (d'après GARGOUÏL, 1968)

(d'après BERNARD, 1970)

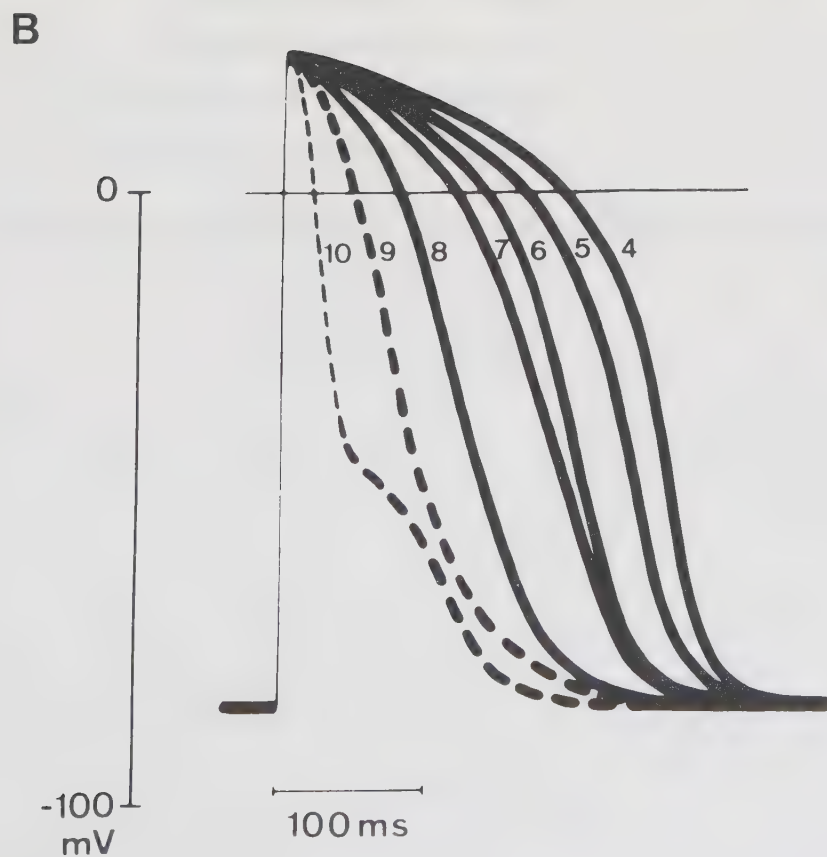
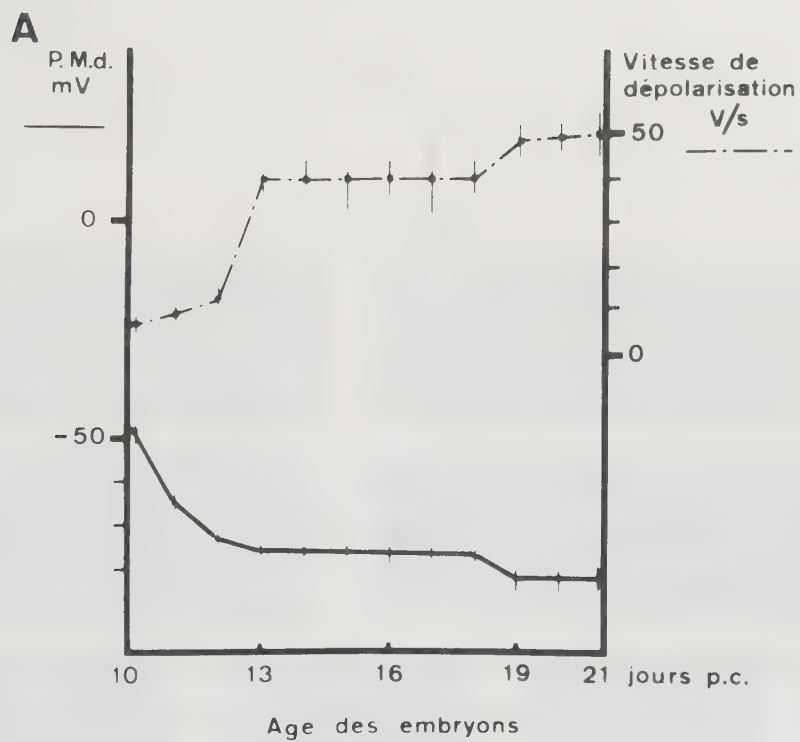


FIGURE 16

FIGURE 17

Modification par la métamorphose de l'électrogramme intracellulaire (E.I.C.)
du coeur d'axolotl (20°)

Etat larvaire : Axolotl 1) E.I.C. rythme spontané.

2) E.I.C. rythme constant 1 c/s.

Etat adulte : Amblystome (après métamorphose par injection de thyroxine).

3) E.I.C. rythme spontané

4) E.I.C. rythme constant

5) Superposition des tracés 1 et 3

6) Superposition des tracés 2 et 4.

(d'après TRICOCHE, LAPLAUD, MONNEREAU et GARGOUÏL, 1961)

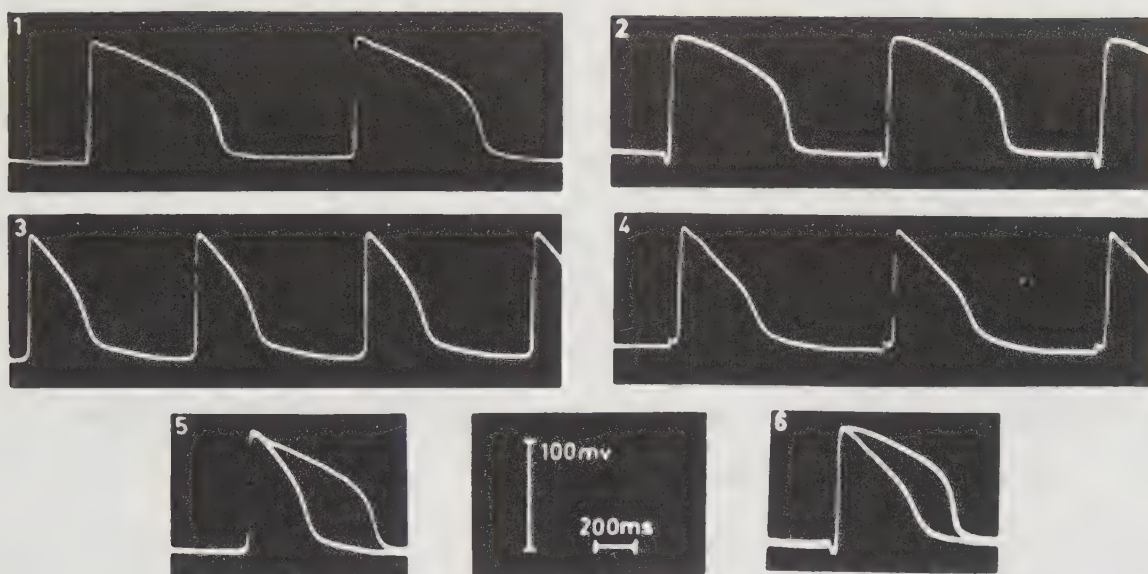


FIGURE 17

FIGURE 18

1 - Action des milieux appauvris en K^+ sur l'activité électrique du myocarde embryonnaire de rat.

A. à 13 jours

B. à 21 jours

Identification des tracés obtenus dans les différents milieux en A. et B.

0 : P.A. normal

1 : P.A. pour une concentration externe en K^+ de 2,8 mM.

2 : P.A. pour une concentration externe en K^+ de 0,6 mM.

3 : P.A. pour une concentration externe en K^+ de 0 mM.

2 - Actions des milieux hypo- et hypersodiques sur l'activité électrique du myocarde embryonnaire de rat.

A. à 10 jours

B. à 13 jours

C. à 21 jours

Identification des tracés obtenus dans les différents milieux en A, B et C.

0 : P.A. normal

1 : Na^+ externe : 13 mM

2 : Na^+ externe : 260 mM.

3 - Action d'un milieu physiologique contenant 0,2 mM de Ca^{++} (10 % de la valeur normale) sur le myocarde embryonnaire de rat.

A. à 10 jours

B. à 21 jours

Identification des tracés obtenus dans les différents milieux en A. et B.

0 : P.A. normal

1 : P.A. obtenu pour une concentration externe en Ca^{++} de 0,2 mM.

(d'après BERNARD, 1970)

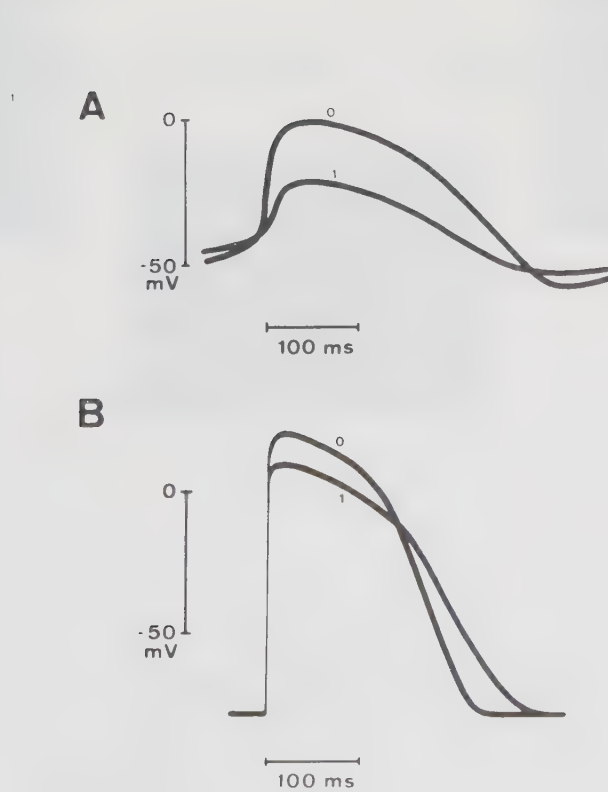
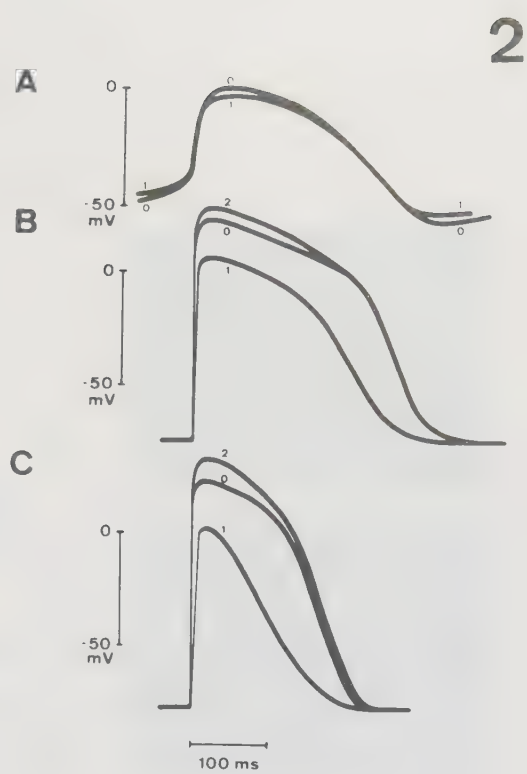
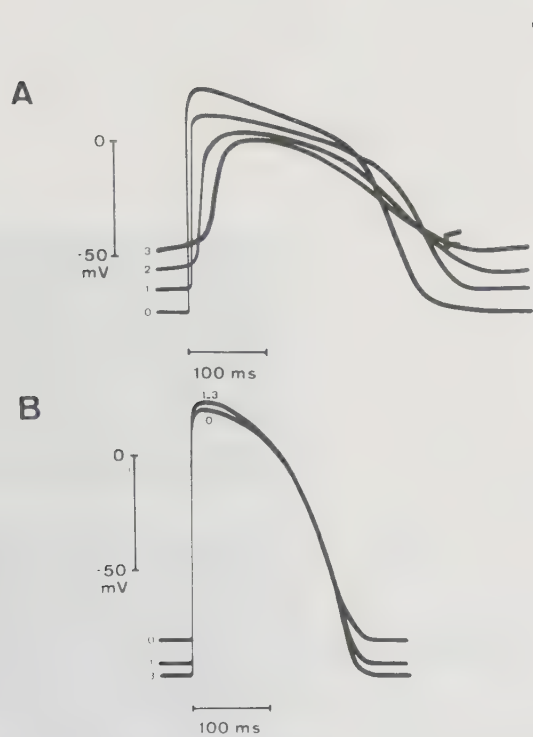


FIGURE 18

FIGURE 19

Exemples de potentiels transmembranaires enregistrés dans un fragment ventriculaire d'un coeur de 4 jours cultivé depuis 3 jours. Les hachures indiquent la localisation approximative du centre d'automatisme.

(d'après CORABOEUF, G. LE DOUARIN et OBRECHT, 1965)

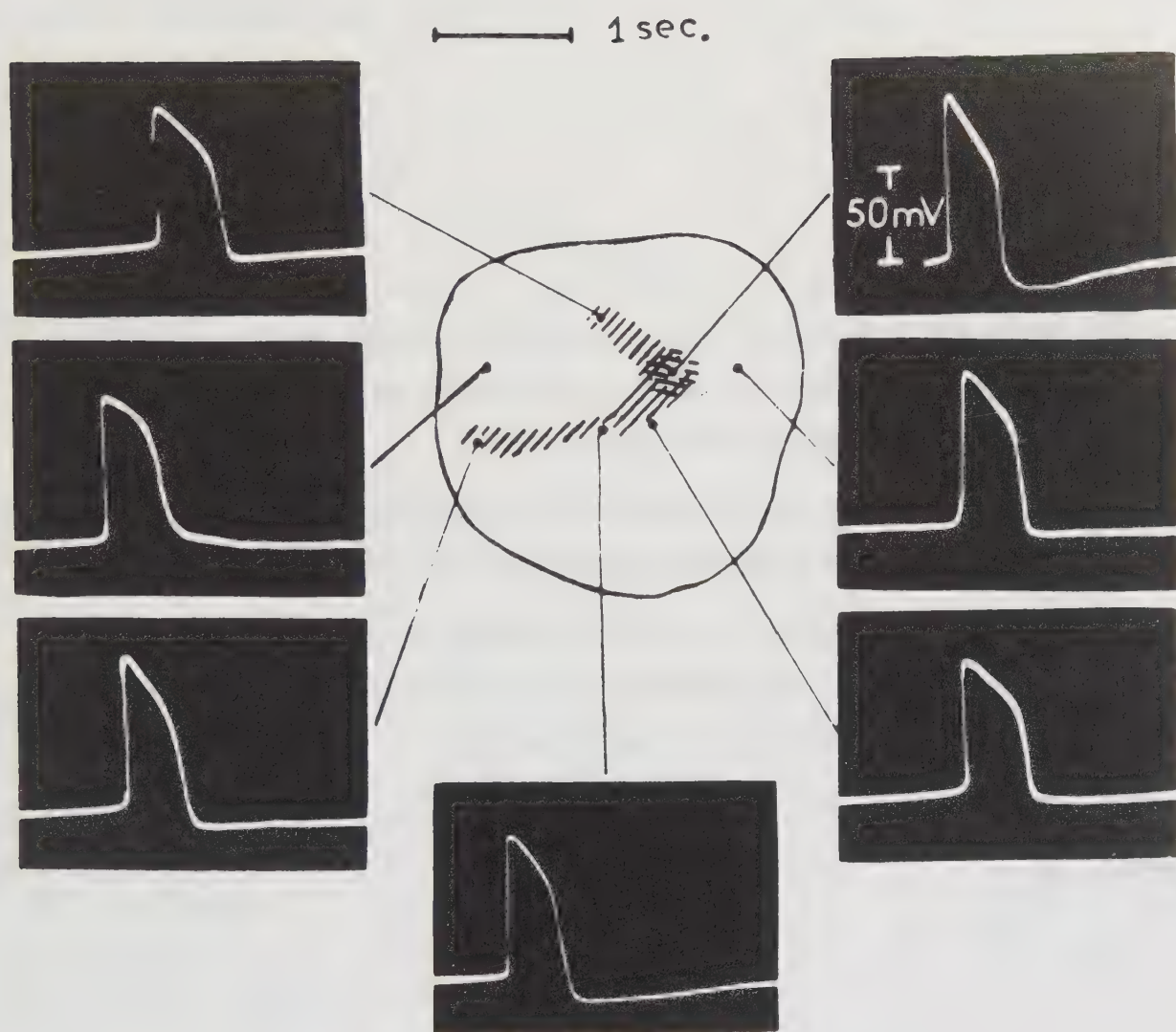


FIGURE 19

FIGURE 20

Isolement du feuillet mésodermique de l'aire cardiaque présomptive.
La solution de trypsine à 0,1 % dans du liquide de Tyrode sans calcium ni magnésium agit pendant environ 5' à 4°C.

Lorsque les feuillets commencent à se décoller les uns des autres, la dissociation est achevée mécaniquement à l'aide de microscalpels.

Après inactivation de la trypsine par passage de quelques minutes dans une solution de Tyrode additionnée de sérum, le mésoderme précardiaque est explanté en milieu liquide de RINALDINI.

end.	:	endoderme
mes.	:	mésoderme
ect.	:	ectoderme

Technique de dissociation des feuillets embryonnaires

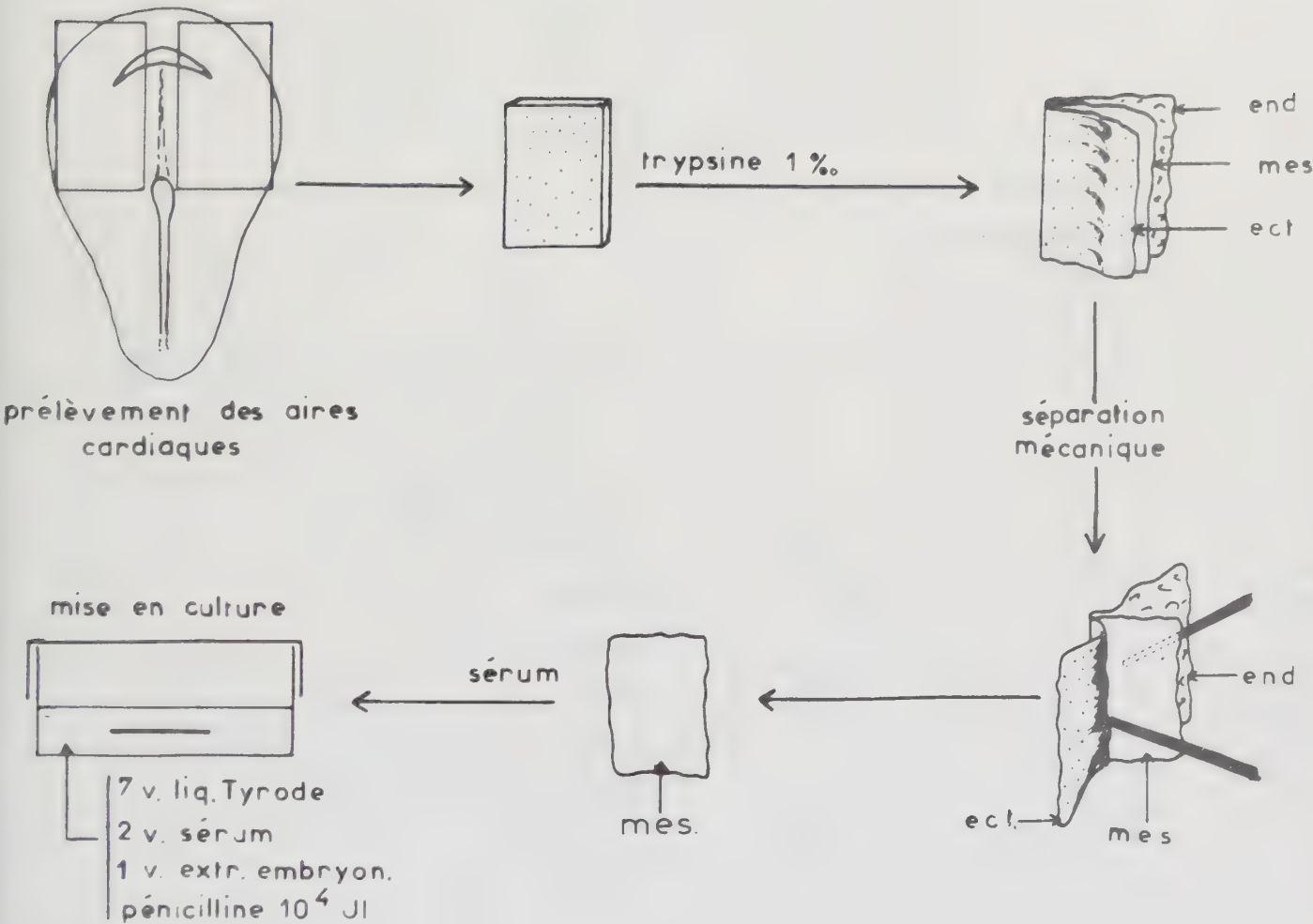


FIGURE 20

FIGURE 21

Schéma d'ensemble du montage utilisé pour l'étude de l'activité électrique.

m.	:	micromanipulateur
c.f.	:	catode follower
b.t.	:	boîte de tarage
b.r.	:	boîte de résistances
osc.	:	oscilloscope
e.	:	éclairage
l.b.	:	loupe binoculaire
ex.	:	explant
c.t.	:	chauffage thermostaté
u.i.	:	unité d'isolement
ext.	:	excitateur

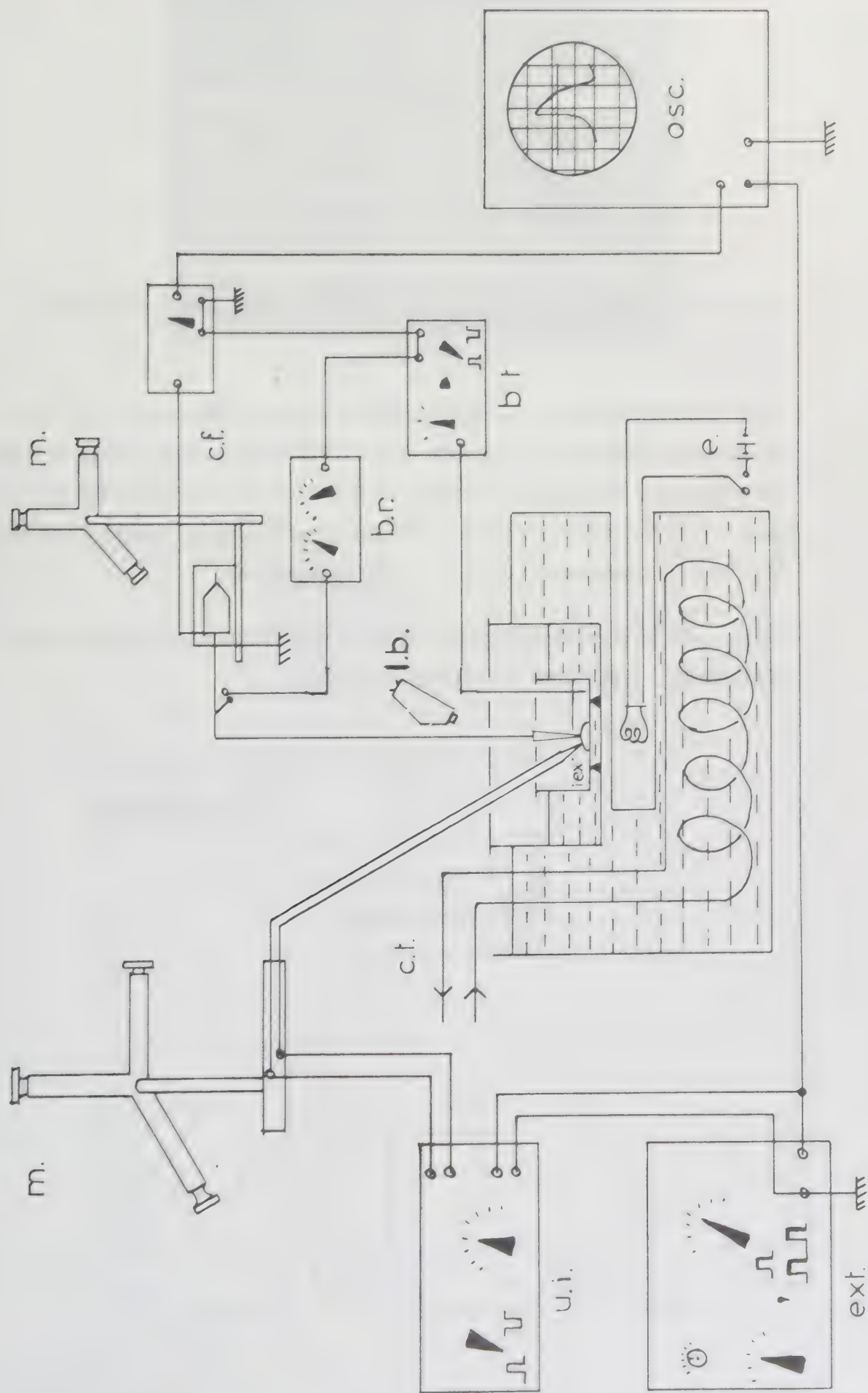


FIGURE 21

FIGURE 22

Enregistrement des changements du potentiel membranaire provoqués par l'application de courants imposés.

En A, tracé supérieur : enregistrement de courants passant à travers une électrode stimulatrice. La symétrie des tracés pour les deux sens de passage du courant est le critère permettant de sélectionner les électrodes utilisables pour l'expérimentation. Le tracé inférieur correspond à l'électrode réceptrice, les deux électrodes étant dans le liquide de perfusion.

En B, schéma du montage utilisé (d'après WEIDMANN, 1951, modifié par GARGOUÏL, TRICOCHÉ et BERNARD, 1963).

Gen : générateur d'impulsions rectangulaires

R : relai

Ci : contact inverseur

μe : microélectrodes

Osc : oscilloscope

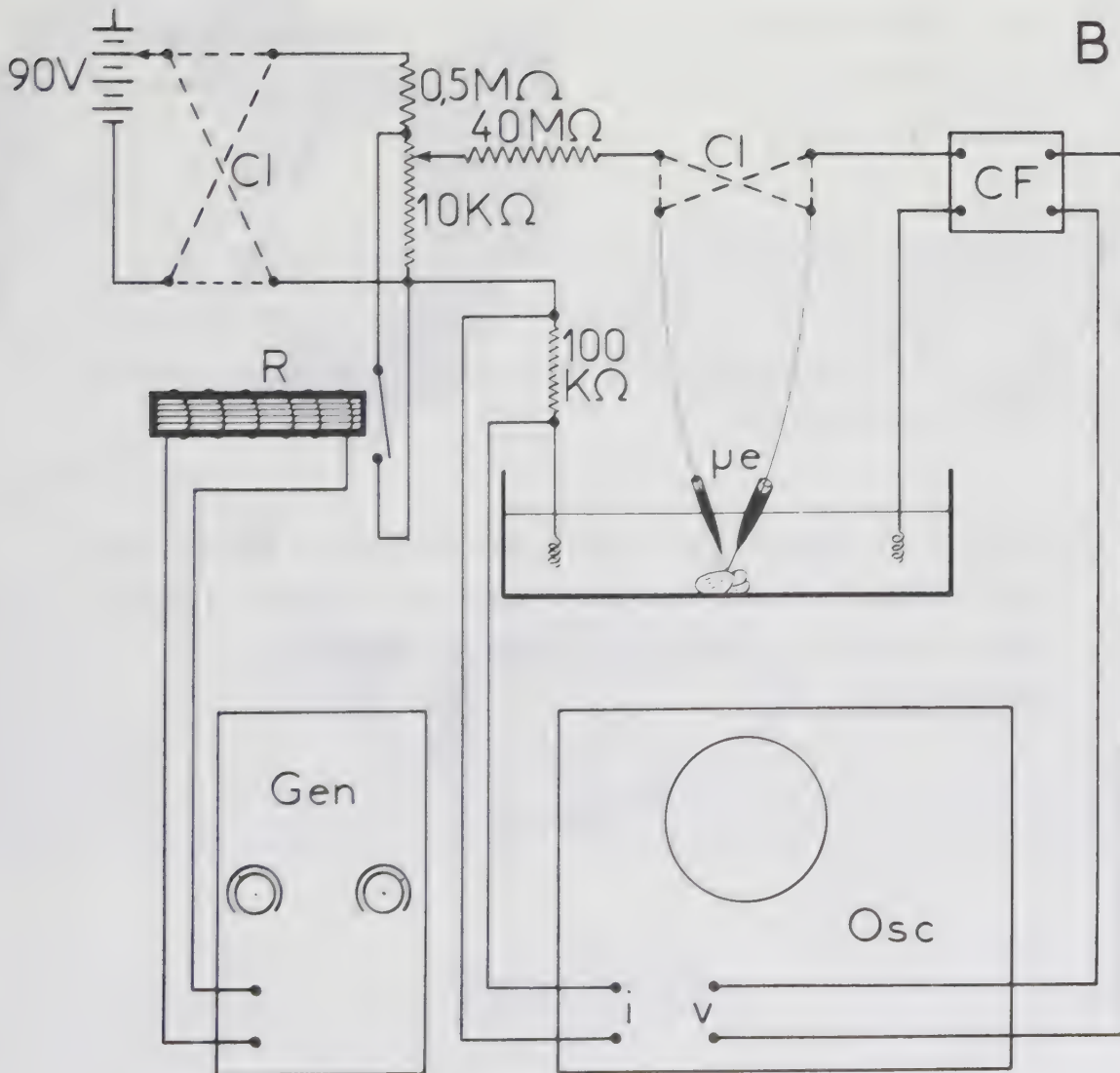
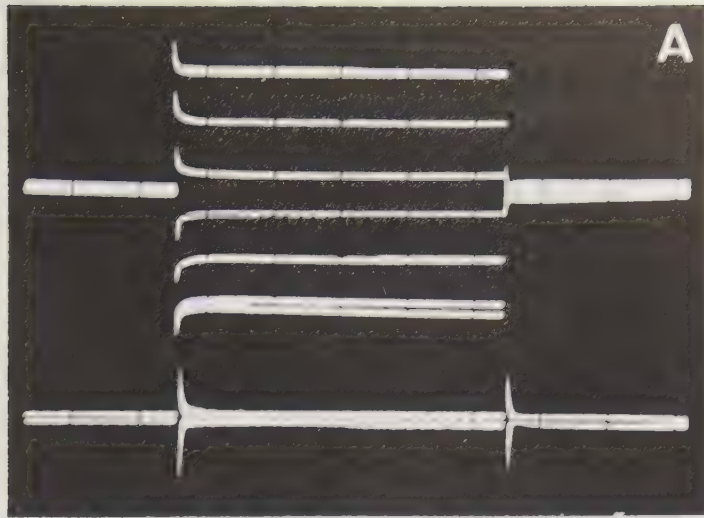


FIGURE 22

FIGURE 23

- A. - Mésoderme de l'aire cardiaque présomptive d'un blastoderme de poulet (stade 2 somites) isolé et cultivé en milieu liquide pendant 4 jours.

Le tissu myocardique formé est compact, d'aspect homogène et dépourvu de cavité centrale. Hématoxyline.

G. x 95

- B. - Différenciation d'un tube cardiaque (T.C.) à partir de l'aire précardiaque droite prélevée sur un embryon de 3 somites et cultivée en milieu liquide pendant 24 heures. (A.E.): aire extra-embryonnaire en voie de nécrose.

G. x 95

- C. - Coupe de l'explant de la figure B. A l'intérieur de la structure vésiculeuse formée par l'endoderme et l'ectoderme, on reconnaît le tube cardiaque constitué d'un épimyocarde (Ep.) et d'un endocarde (En.). Hématoxyline.

G. x 55

- D. - Culture sur milieu gélosé de l'aire cardiaque gauche d'un embryon de 4 somites. Le tissu cardiaque a formé une vésicule (V.) contenant un coagulum. L'endocarde ne s'est pas différencié. Hématoxyline.

G. x 50

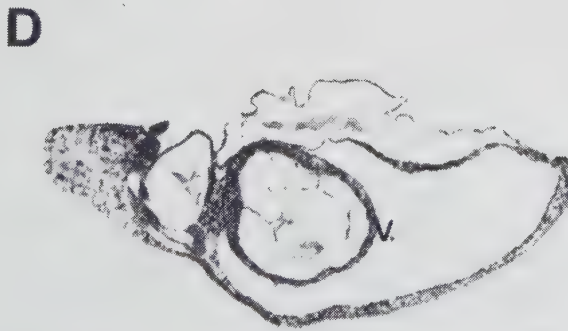
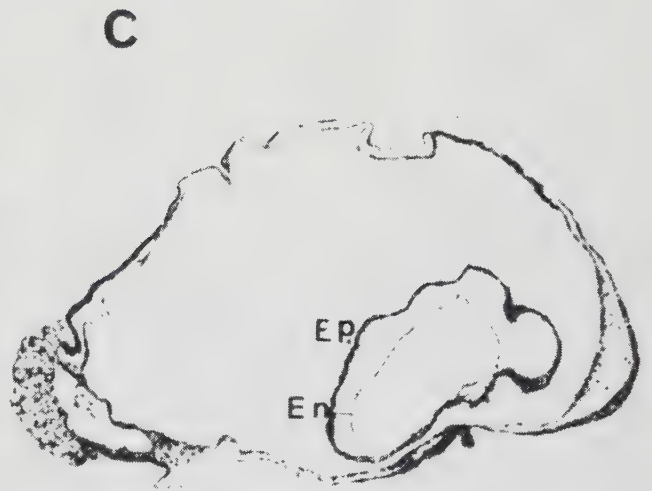
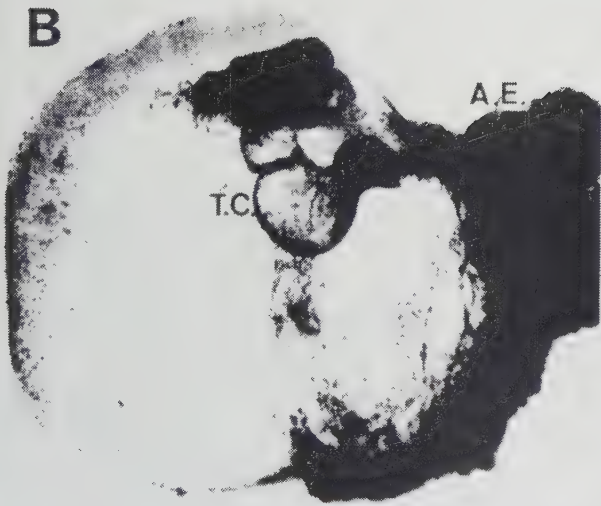
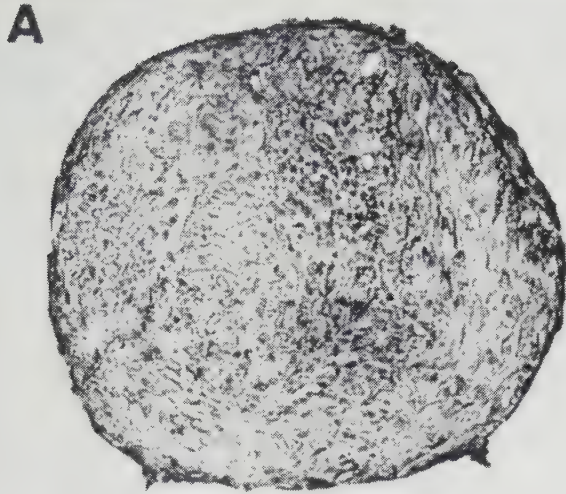


FIGURE 23

FIGURE 24

- A. - Formation en culture (milieu liquide) d'un tube cardiaque à partir du feuillet mésodermique laissé au contact du feuillet endodermique de l'aire cardiaque (embryon de 5 somites). Hématoxyline.
Ep. : épimyocarde En. : endocarde G. x 60
- B. - Mésoderme de l'aire cardiaque d'un embryon de 2 somites associé à un fragment d'endoderme prélevé en dehors de l'aire cardiaque. Durée de la culture en milieu liquide : 3 jours. L'endoderme a formé une vésicule (V. end.) à l'intérieur de laquelle le tissu myocardique forme un tube (T.C.) Hématoxyline.
G. x 70
- C. - Culture en milieu liquide du feuillet mésodermique laissé au contact du feuillet ectodermique de l'aire cardiaque (embryon de 5 somites). Le tissu cardiaque s'est organisé en structure tubulaire (T.) à l'intérieur de la vésicule (V.) formée par l'ectoderme. Hématoxyline.
G. x 60
- D. - Mésoderme de l'aire cardiaque d'un embryon de 3 somites associé à un fragment d'ectoderme prélevé en dehors de l'aire cardiaque. Durée de la culture: 3 jours. L'ectoderme a formé une vésicule (C. ect.) à l'intérieur de laquelle le tissu myocardique a constitué un tube (T.C.). Hématoxyline.
G. x 60
- E. - Evolution d'un mésoderme précardiaque (embryon de 3 somites) n'ayant pas été englobé par le fragment d'endoderme associé. Durée de la culture en milieu liquide : 2 jours. Le tissu myocardique forme une structure lacunaire sans cavité centrale nette. Hématoxyline.
G. x 50

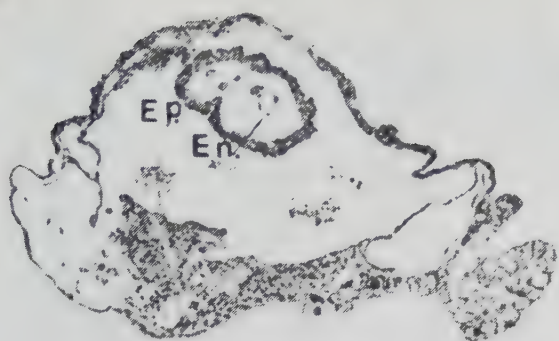
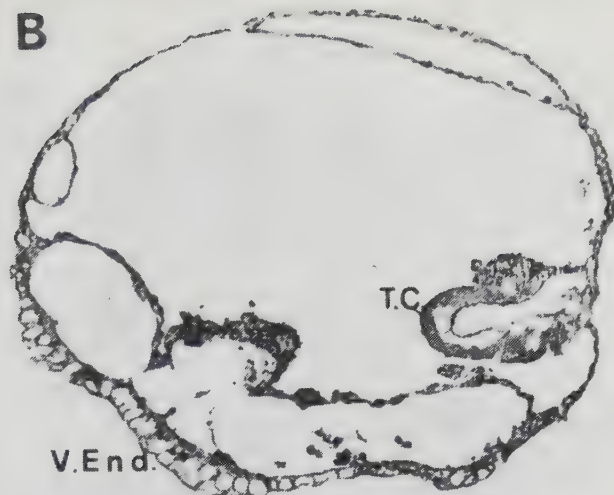
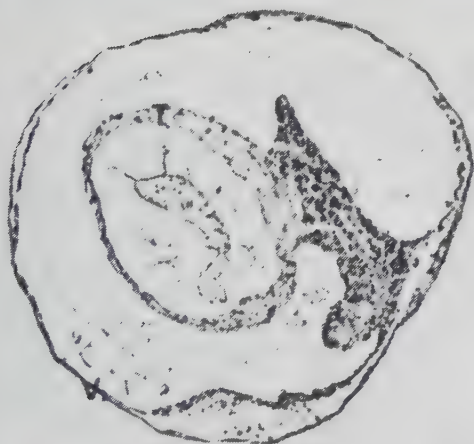
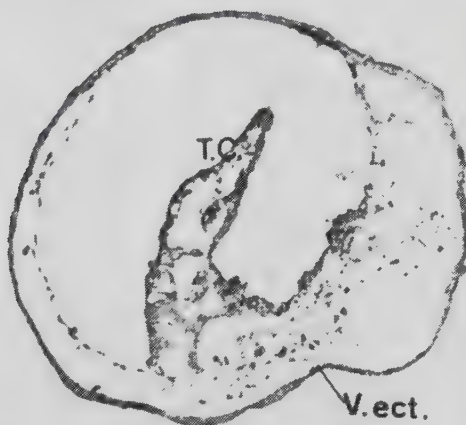
A**B****C****D****E**

FIGURE 24

FIGURE 25

Activité électrique du coeur embryonnaire de poulet

à 2 jours (A) et

à 3 jours (B).

At : P.A. d'une cellule atriale, près du foyer
d'automatisme

V : P.A. ventriculaires

Entre ces deux stades, se produit une augmentation de la vitesse de la phase ascendante des P.A., une diminution de la durée des P.A. et une accélération du rythme spontané.

C. - Représentation schématique du P.A. ventriculaire du tissu myocardique différencié à partir du mésoderme précardiaque (més), du tube cardiaque différencié in vitro (t) et à différents stades du développement normal (2, 3, 4 et 19 jours). Les valeurs indiquées sont les vitesses de la phase ascendante du P.A. (en V/s).

Calibrage horizontal : 200 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

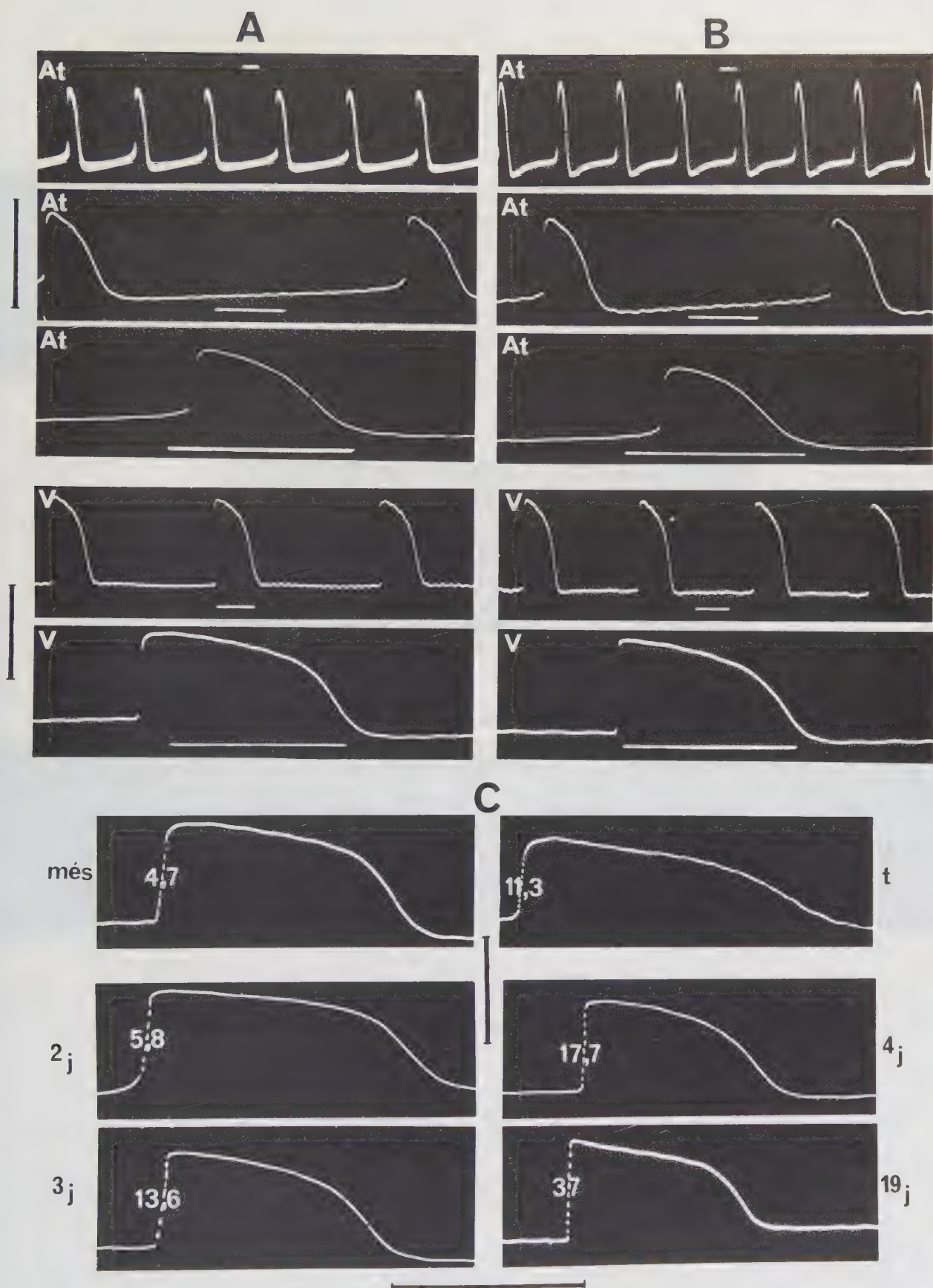


FIGURE 25

FIGURE 26

Enregistrement de l'activité électrique transmembranaire du tissu myocardique formé in vitro par le mésoderme précardiaque cultivé isolément.

A. et B. - Enregistrements au 3ème jour de culture.

En A., près du foyer d'automatisme

En B., dans une autre région de l'explant.

Dans les deux cas les potentiels d'action sont de type ventriculaire.

C. - Même région qu'en B. Enregistrement à grande vitesse montrant l'importance du plateau du potentiel d'action.

D. à G. - Activité automatique enregistrée dans différentes régions d'un explant après 18 jours de culture: généralisation des caractéristiques électrophysiologiques de l'automatisme.

Calibrage horizontal : 500 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

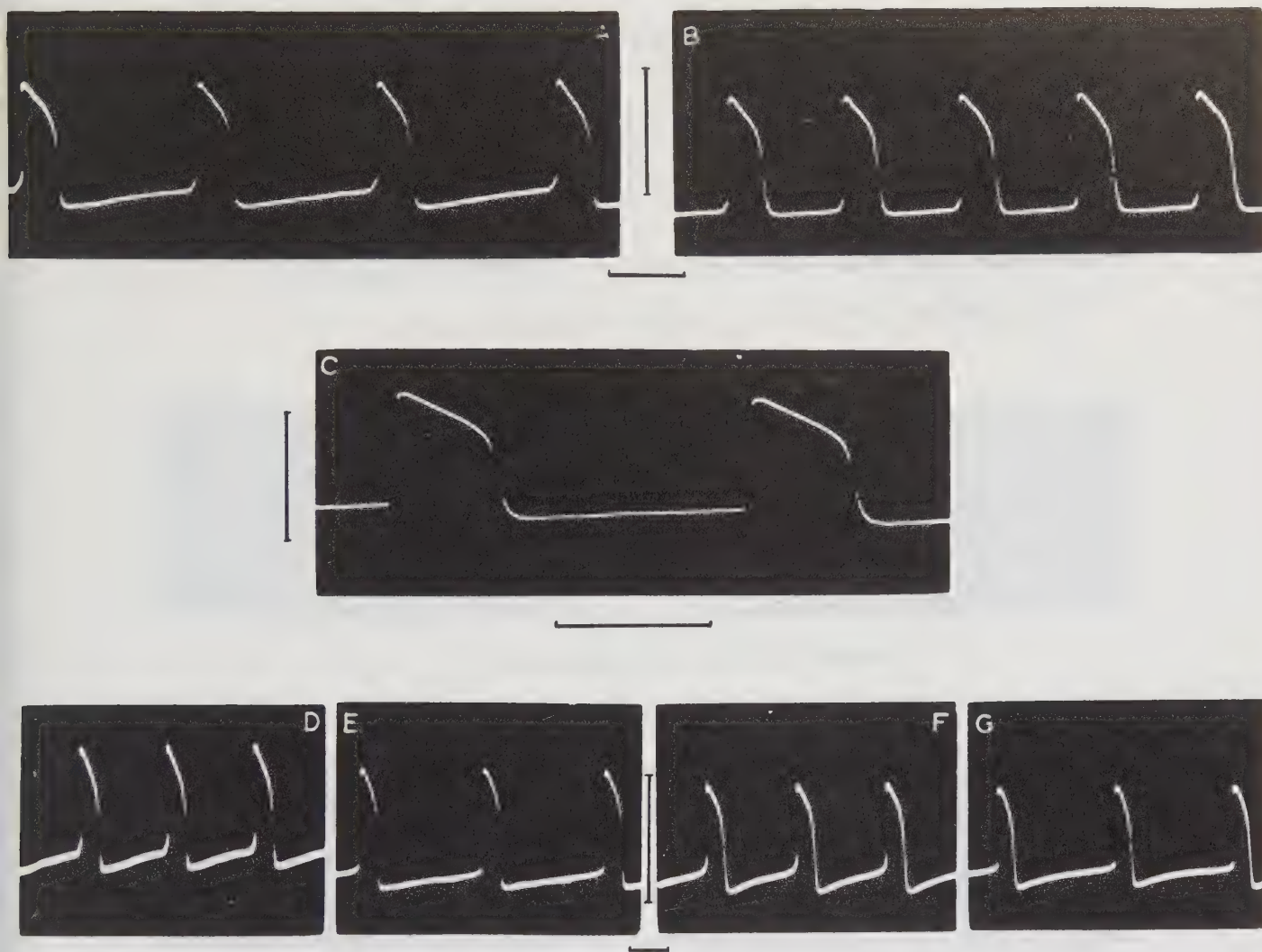


FIGURE 26

FIGURE 27

Enregistrements de l'activité électrique transmembranaire du tube cardiaque différencié en culture in vitro.

A., B. et C. - Enregistrements à différentes vitesses près du foyer d'automatisme. Les potentiels d'action sont de type atrial.

D. - Potentiels d'action de type atrial enregistrés en dehors du foyer d'automatisme.

E. et F. - Potentiels d'action ventriculaires enregistrés à deux vitesses différentes dans la chambre moyenne du tube cardiaque.

Calibrage horizontal : 500 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

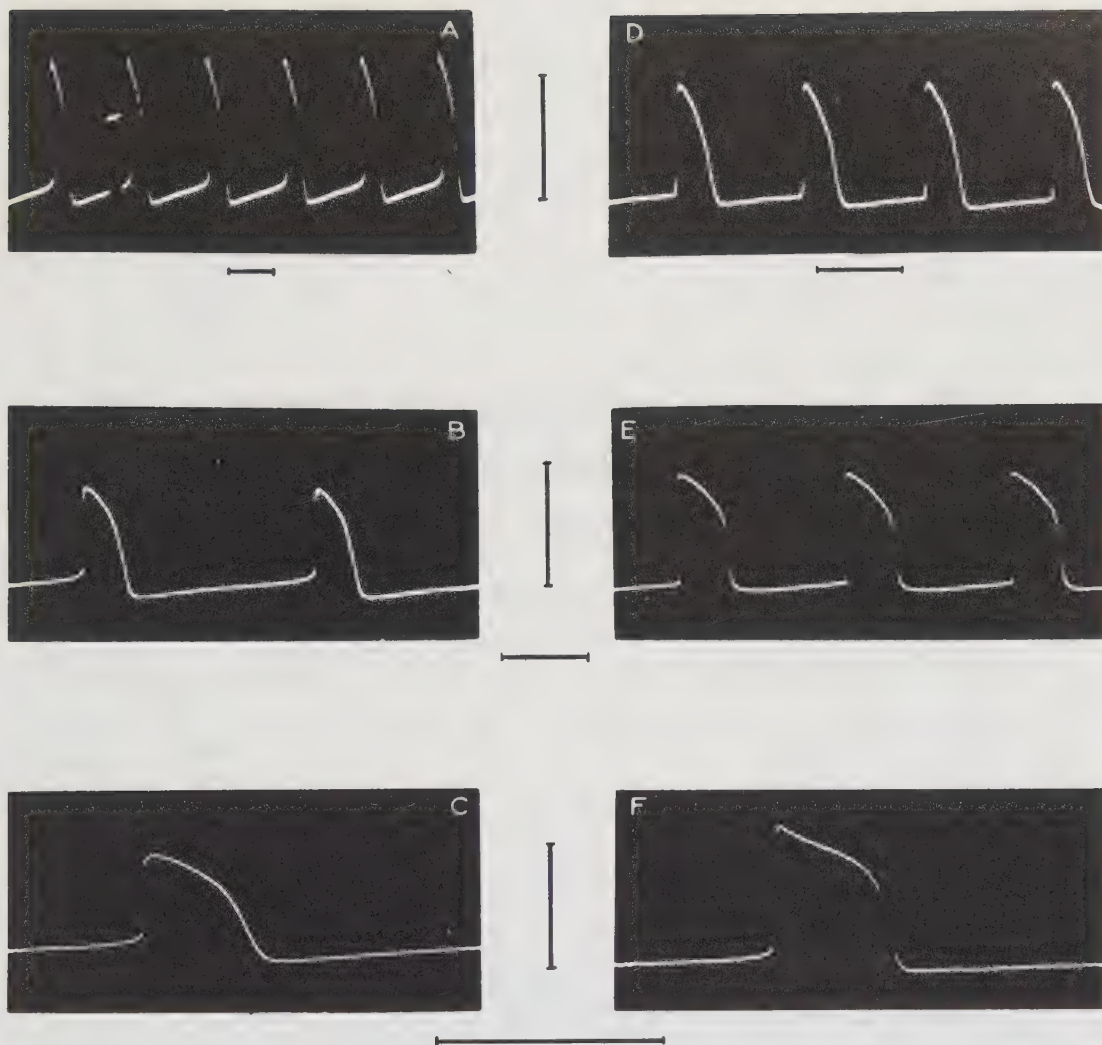


FIGURE 27

FIGURE 28

Evolution du potentiel de repos (E_m) et de la valeur de l'inversion de potentiel (E_{max}) des cellules ventriculaires de l'embryon de poulet au cours du développement.

(d'après SPERELAKIS et SHIGENOBU, 1972)

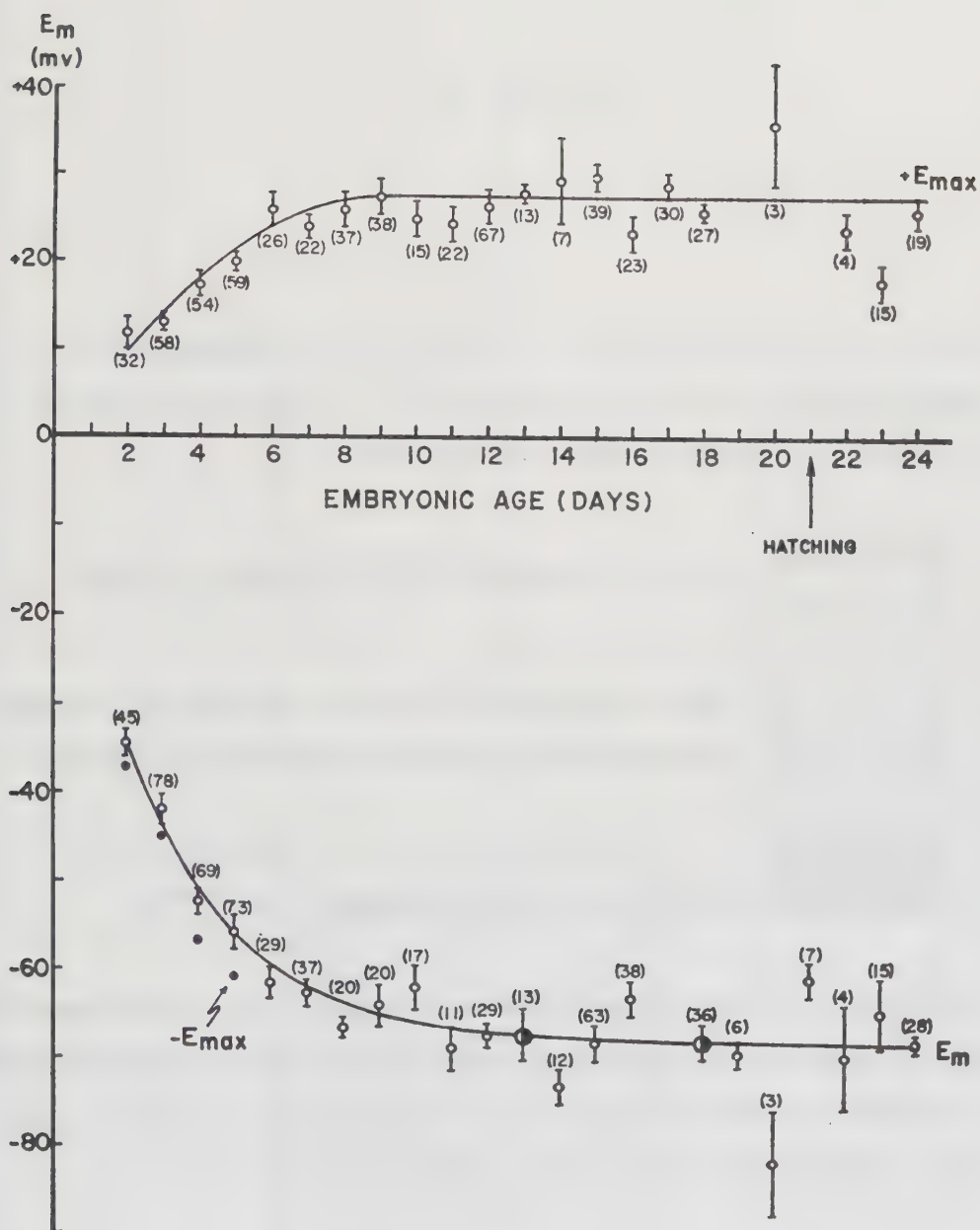


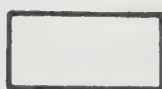
FIGURE 28

FIGURE 29

Effet des catécholamines sur le rythme du coeur embryonnaire du poulet à différents stades du développement. Tracés établis à partir des valeurs moyennes indiquées sur le tableau I.



Effets chronotropes de l'adrénaline (10^{-4} g/ml) .



Effets chronotropes observés au cours de la première minute d'action de la noradrénaline (10^{-4} g/ml) .



Effets chronotropes observés après 10 minutes d'action de la noradrénaline.

L'adrénaline exerce un effet chronotrope durable, donc l'importance varie avec le stade de développement. L'effet chronotrope de la noradrénaline est biphasique jusqu'au 4ème jour du développement: on observe d'abord une accélération du rythme, puis un ralentissement.

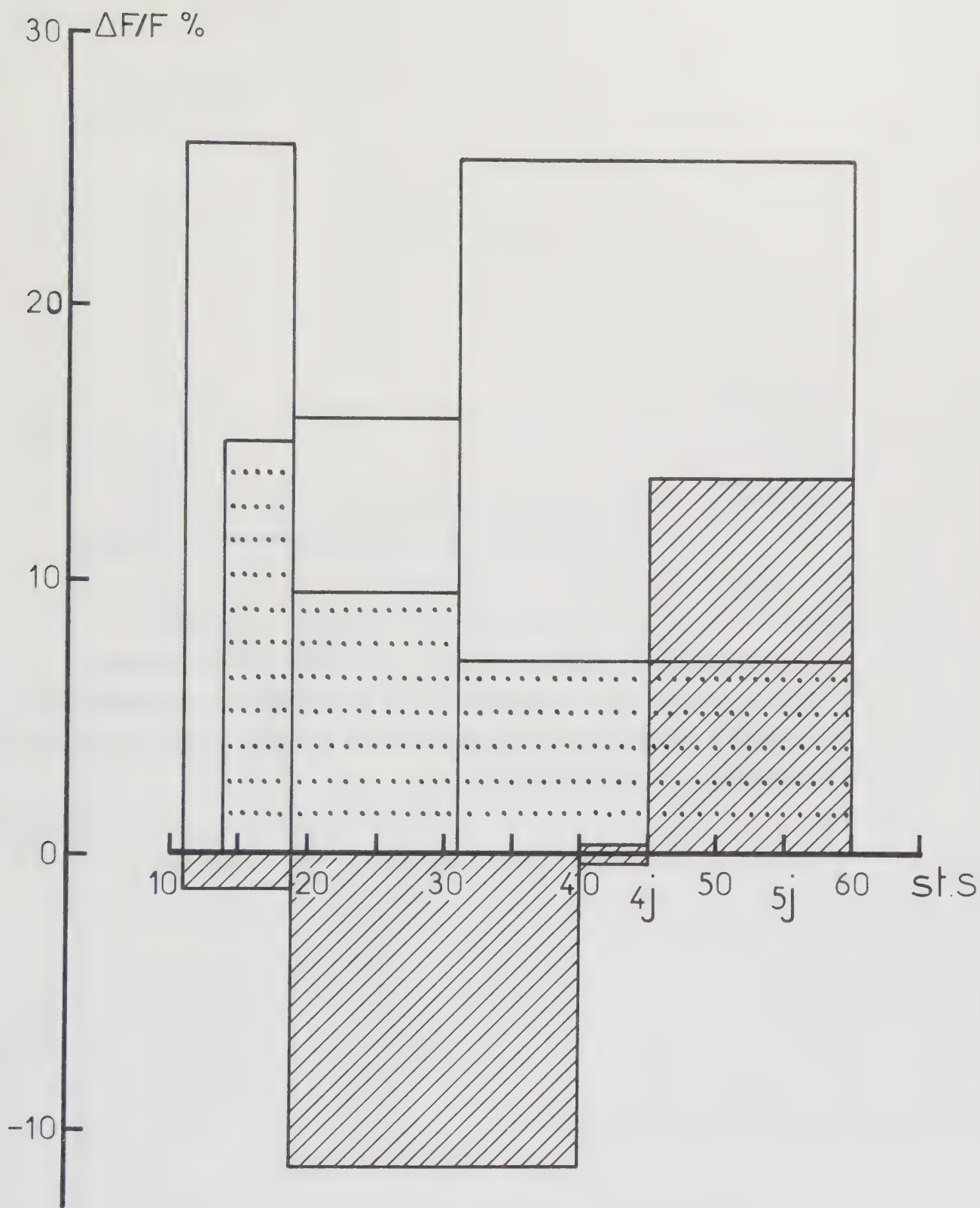


FIGURE 29

FIGURE 30

Evolution, en fonction du temps d'action, des effets chronotropes de la noradrénaline (10^{-4} g/ml) à différents stades du développement de l'embryon de poulet.

A tous les stades on observe un effet chronotrope positif immédiat. L'effet stabilisé est un ralentissement à 14 somites, un ralentissement moindre à 29 somites, une absence d'action à 4 jours et une accélération à 5 jours.

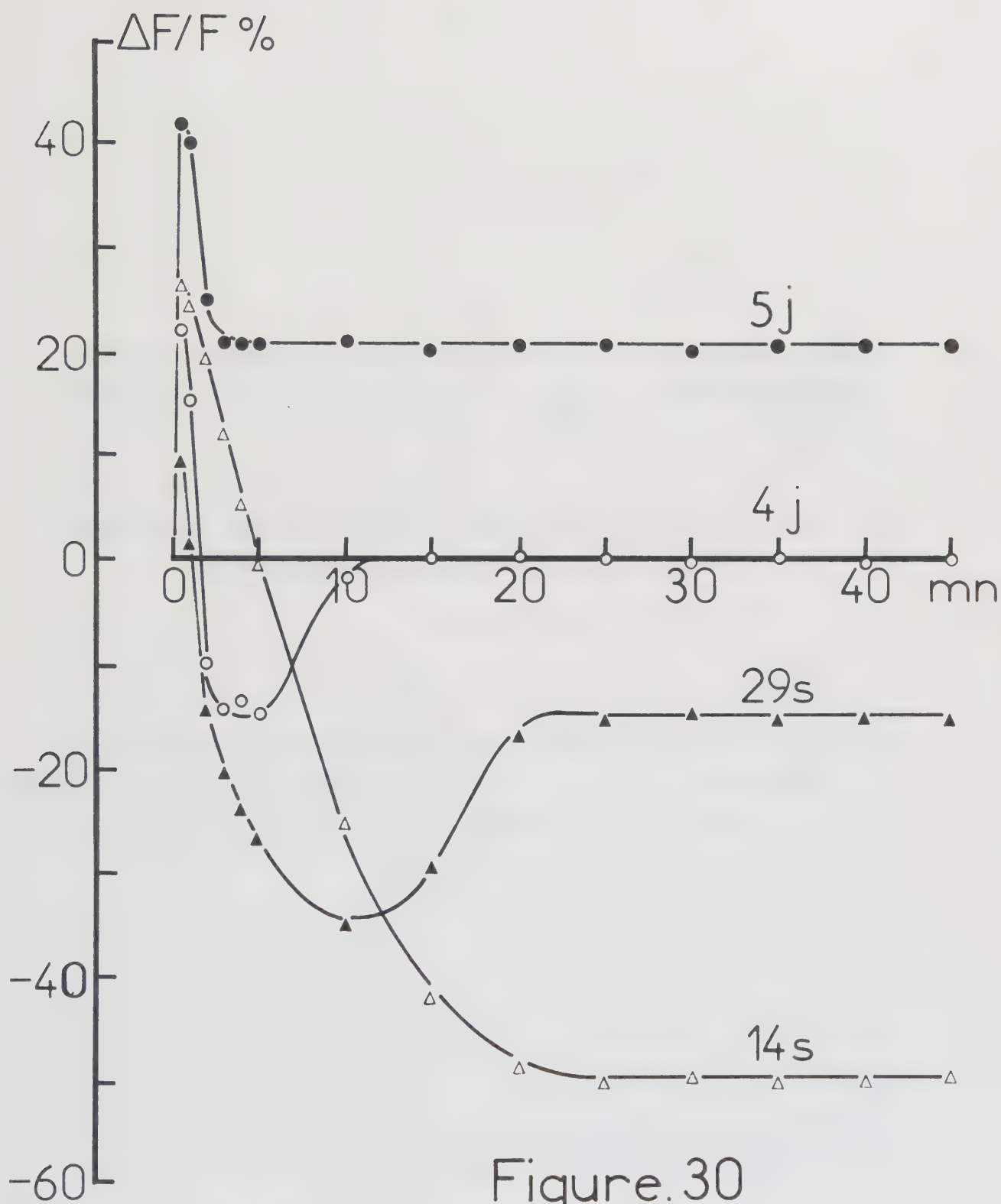


FIGURE 31

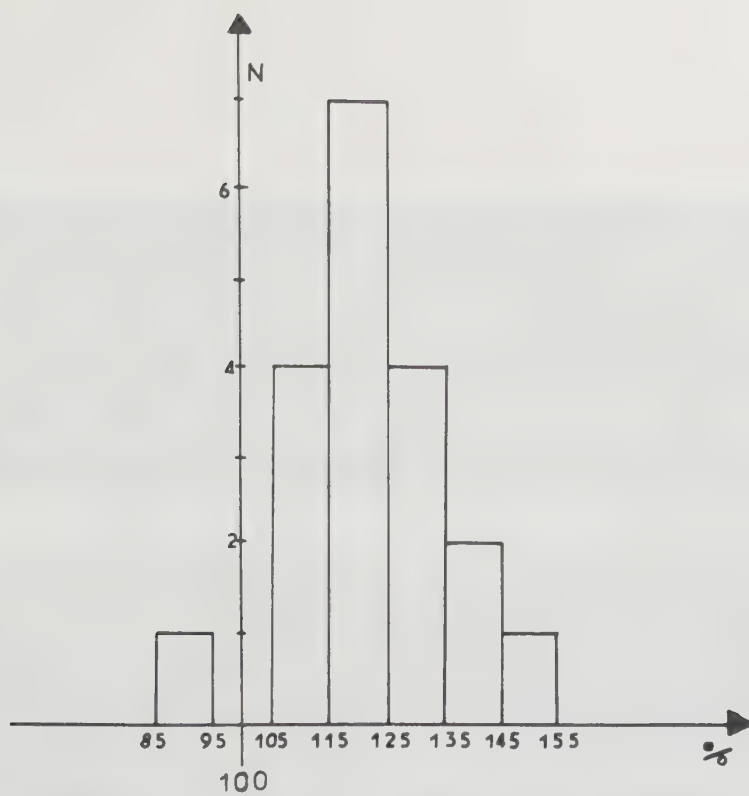
Action de l'adrénaline (10^{-5} g/ml) sur le rythme des battements du tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque de l'embryon de poulet explanté isolément.

A. - Histogramme représentant l'effet d'une première dose. En abscisse, rythme des battements en pourcentage du rythme initial.

N : nombre de cas.

B. - Histogramme représentant l'effet d'une seconde dose d'adrénaline administrée 4 heures après le retour au milieu normal. La valeur modale de l'effet chronotrope ne diffère pas de celle qui est obtenue lors de la première administration d'adrénaline.

A



B

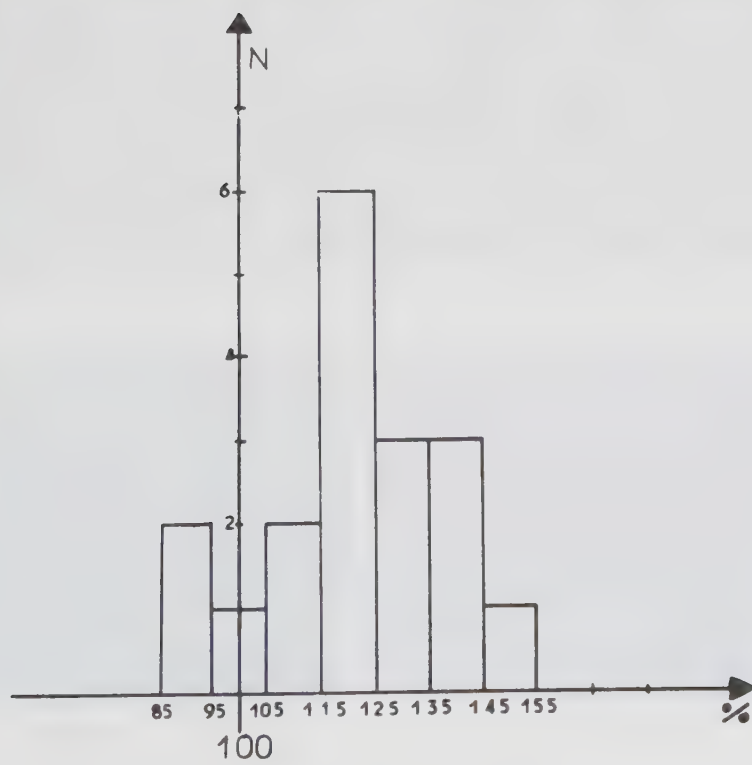


FIGURE 31

FIGURE 32

Action de l'adrénaline sur l'activité électrique du tissu myocardique différencié à partir du mésoderme précardiaque cultivé isolément.

A. - Accélération du rythme après administration (trait vertical)
d'adrénaline (10^{-5} g/ml).

B. et C. - Mêmes enregistrements que précédemment effectués à plus
grandes vitesses. Mise en évidence d'un ressaut du plateau du
potentiel d'action.

Calibrage horizontal : 500 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

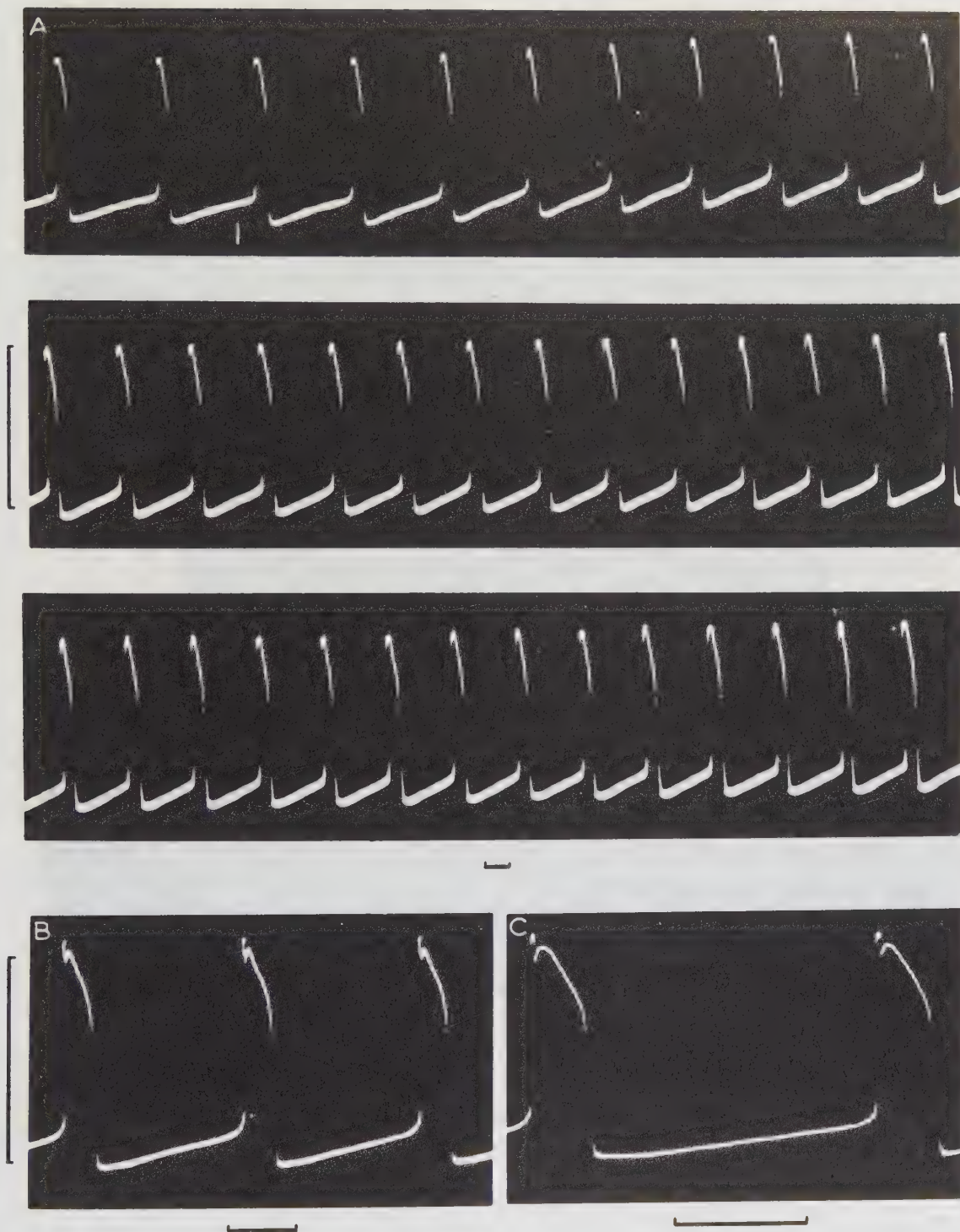


FIGURE 32

FIGURE 33

Activité électrique spontanée à rythme lent du tissu myocardique après 22 jours de culture en milieu liquide. Existence d'ondulations du potentiel membranaire. Après administration d'adrénaline (trait vertical), ces ondulations atteignent le seuil de dépolarisation permettant ainsi le déclenchement de potentiels d'action et le rythme spontané de l'explant devient plus rapide.

Calibrage horizontal : 500 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

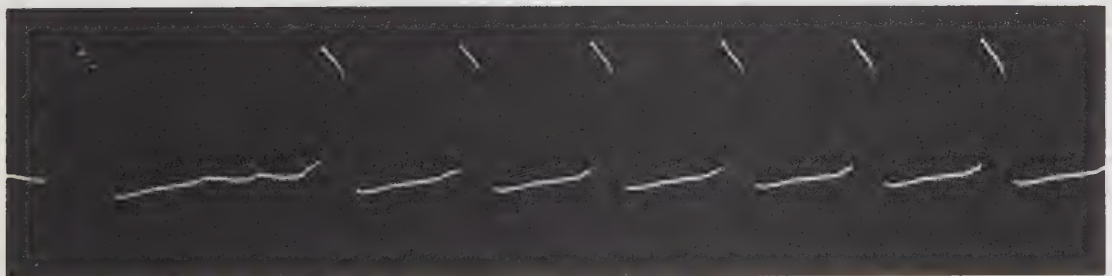
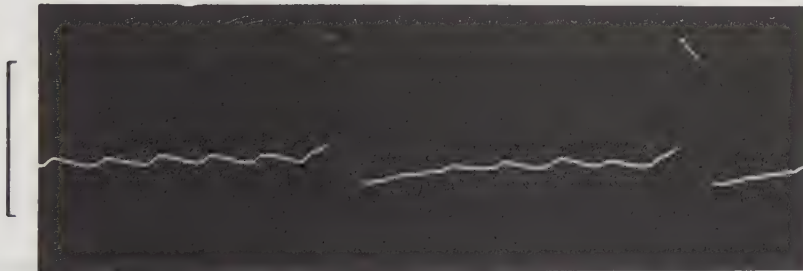
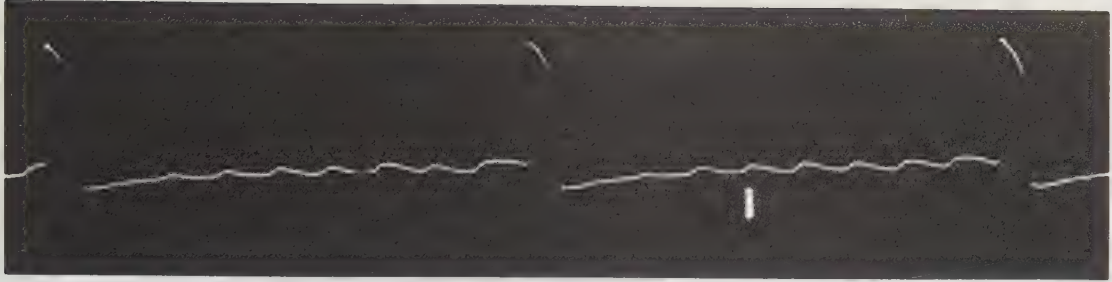


FIGURE 33

FIGURE 34

Effets de l'adrénaline sur les courants entrants transmembranaires au cours de l'activité cardiaque des fibres atriales de grenouille.

- 1 - Action de l'adrénaline en milieu de Ringer - TTX sur le courant entrant (tracés supérieurs) sous l'effet d'une dépolarisation imposée (tracé inférieur). Le tracé relatif au courant entrant le plus fort correspond à l'action de l'adrénaline.

Calibrage horizontal : 20 ms

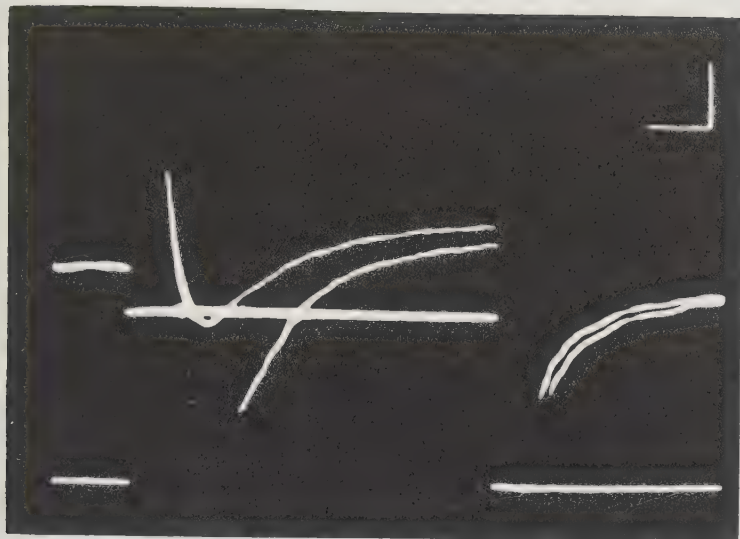
Calibrage vertical : 20 mV et 10^{-6} A.

- 2 - Caractéristiques courant (I) - potentiel (V) : en présence de milieu de Ringer - TTX (cercles), sous l'effet de l'adrénaline (triangles) et après retour en milieu de Ringer - TTX (points). Le potentiel zéro correspond au potentiel de repos. Les dépolarisations s'inscrivent vers la droite, les courants entrants vers le bas.

- 3 - Action de l'adrénaline (triangles) sur une préparation ne présentant au départ aucun courant entrant en Ringer - TTX (cercles).

(d'après VASSORT, ROUGIER, GARNIER, SAUVIAT, CORABOEUF
et GARGOUIL, 1968)

1



2



3

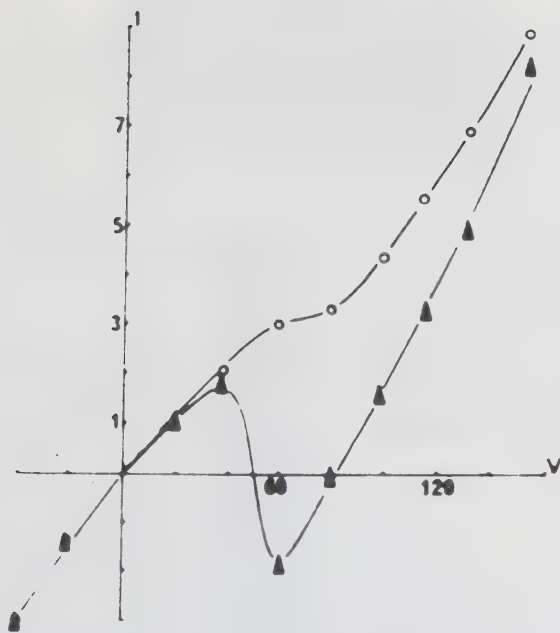


FIGURE 34

FIGURE 35

Action de l'acétylcholine sur le rythme spontané du myocarde embryonnaire de poulet.

(d'après OBRECHT-COUTRIS, 1970)

- A. - Pourcentage de fragments atriaux (A) et ventriculaires (V) de coeurs embryonnaires de 6 jours et de 3 jours présentant une sensibilité à l'acétylcholine pour des concentrations comprises entre 10^{-6} et 10^{-4} g/ml. Les fragments prélevés sur des coeurs innervés (6 jours) sont plus sensibles à l'acétylcholine que les fragments prélevés à 3 jours, mais on ne note pas de différence de sensibilité entre les fragments atriaux et les fragments ventriculaires.
- B. - Action de l'acétylcholine (10^{-3} g/ml) sur des fragments myocardiques d'un coeur embryonnaire de 3 jours.
- En (a) : enregistrements superposés de l'activité électrique d'un fragment atrial dans une solution de Tyrode normale (N) et en présence d'acétylcholine (Ach).
 - En (b) : fragment ventriculaire. Activité électrique en solution de Tyrode normale (N) et en présence d'acétylcholine (Ach).

Calibrage horizontal : 500 ms

Calibrage vertical : 50 mV.

- C. - Histogramme montrant les changements du rythme spontané de coeurs d'embryons de 3 jours sous l'effet de différentes concentrations d'acétylcholine.

Effet chronotrope positif (+) ou négatif (-) exprimé en pourcentage du rythme initial.

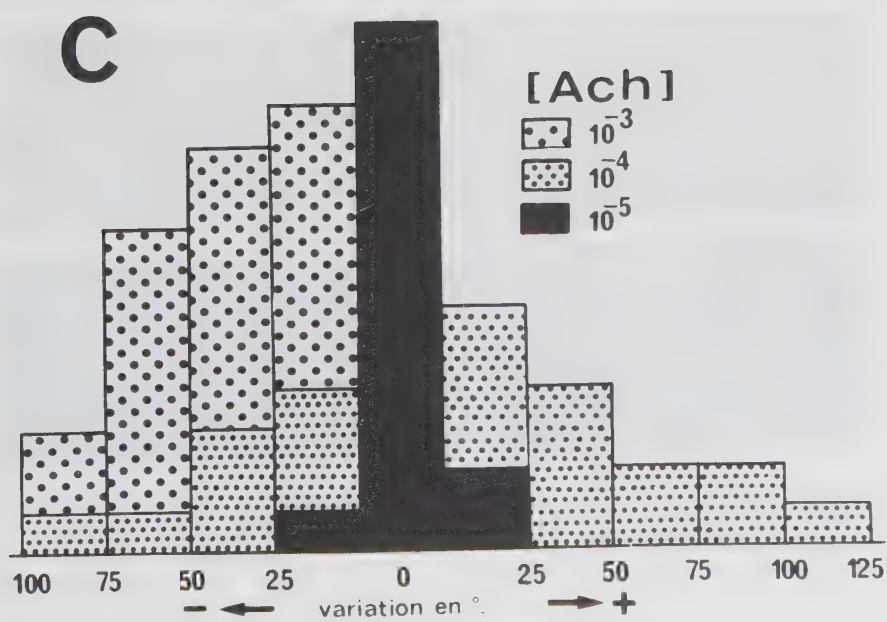
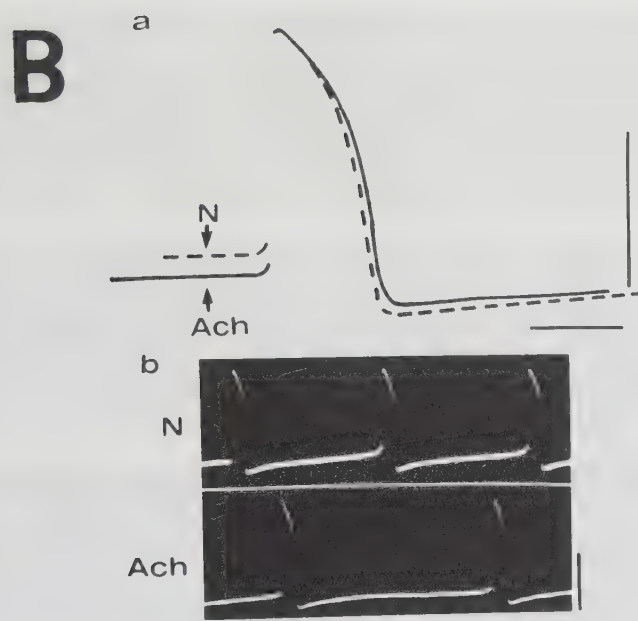
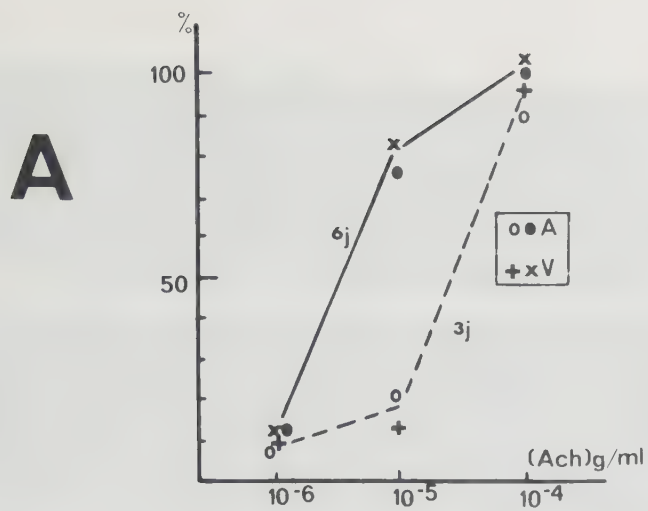


FIGURE 35

FIGURE 36

Effets d'un rythme imposé (stimulation électrique) supérieur au rythme spontané sur l'activité automatique du tissu myocardique différencié à partir du mésoderme précardiaque cultivé isolément.

On observe :

- une diminution progressive de la pente de dépolarisation diastolique pendant la stimulation.
- une inhibition post-stimulative après la stimulation.
- une récupération progressive et totale de la pente de dépolarisation diastolique et du rythme spontané.

Calibrage horizontal : 250 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

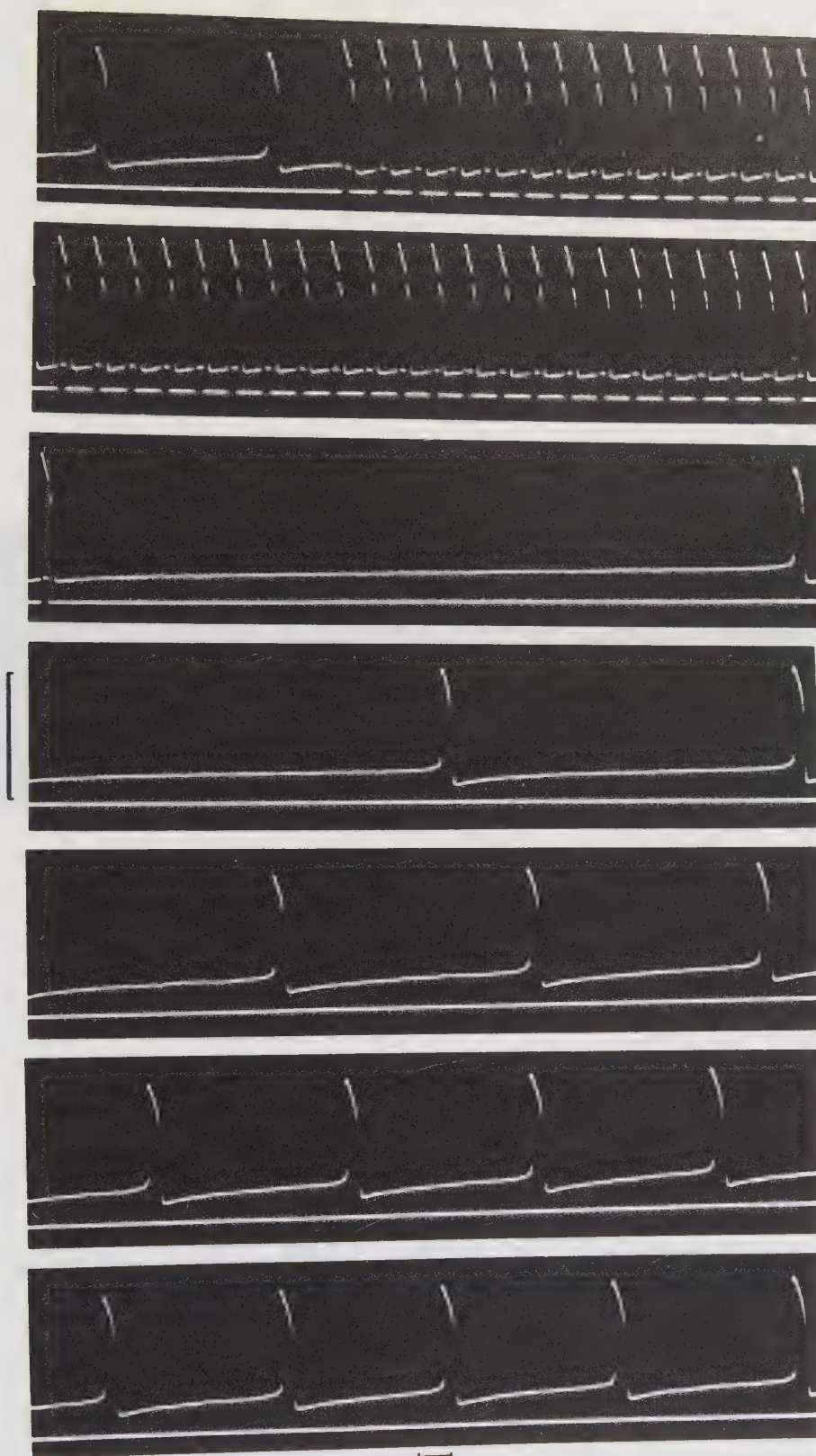


FIGURE 36

FIGURE 37

Même préparation que pour la figure 36.

Suppression presque totale de l'inhibition post-stimulative par l'atropine (10^{-6} mM).

Calibrage horizontal : 250 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

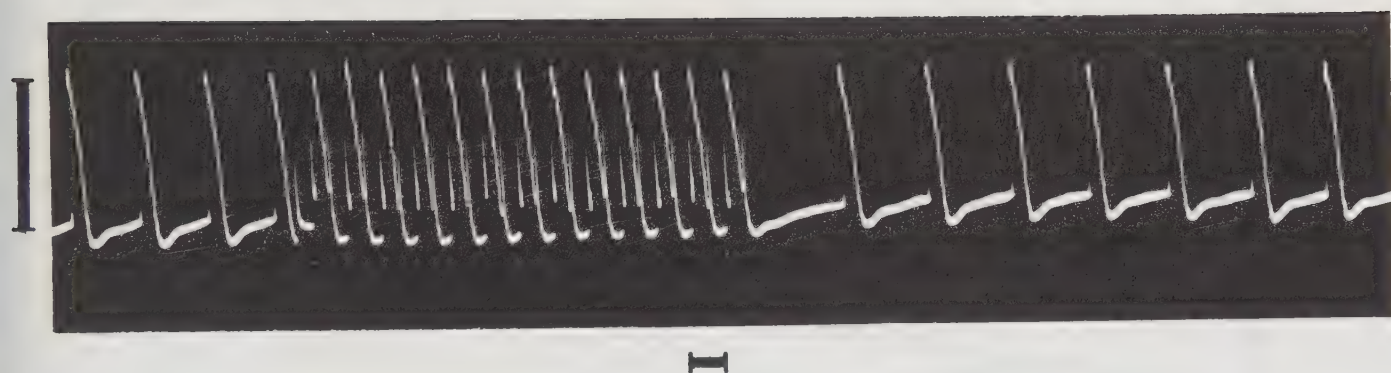


FIGURE 37

FIGURE 38

Effet de l'entraînement électrique du tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque de l'embryon de poulet. Durée de l'inhibition post-stimulative (d.I.P.S.) en secondes, en fonction :

- du rythme spontané (F_{sp}) en cycles/mn, pour une fréquence de stimulation de 145 cycles/mn et un nombre de chocs égal à 30 (cercles).
- du rapport rythme imposé / rythme spontané (F_i/F_{sp}) (triangles).

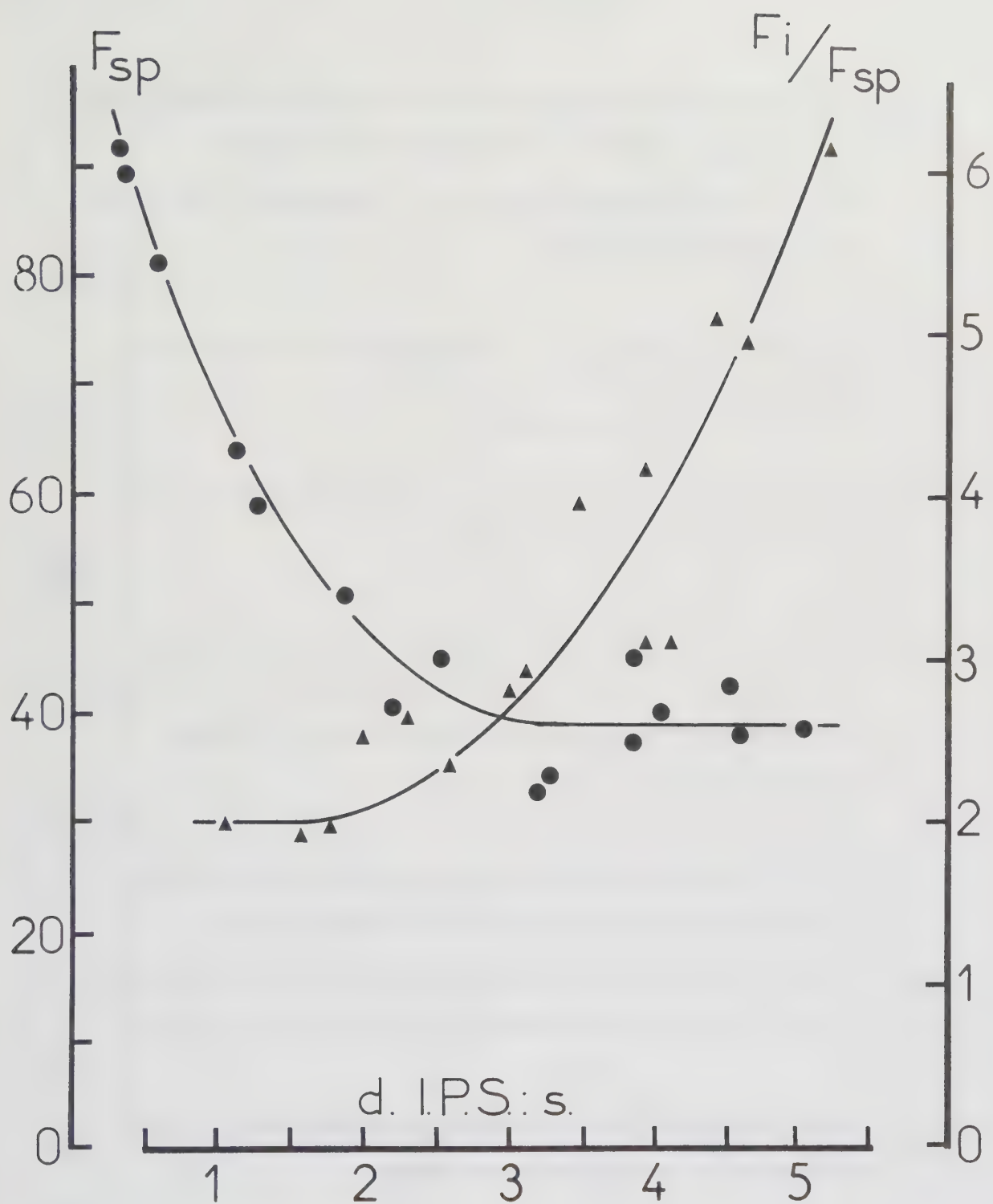


FIGURE 38

FIGURE 39

Détection histochimique des activités cholinestérasiques cardiaques chez l'embryon de poulet (d'après la méthode de GEREBTZOFF).

A. - Site acétylcholinestérasique dans le coeur embryonnaire de 12 jours au niveau du microganglion.

G. x 150

B. - Activité cholinestérasique non spécifique dans le myocarde d'un embryon de 12 jours.

G. x 150

C. - Site acétylcholinestérasique dans le myocarde du tube cardiaque d'un embryon de 2 jours d'incubation.

G. x 220

D. - Activité cholinestérasique non spécifique dans le myocarde du tube cardiaque d'un embryon de 2 jours d'incubation. Le produit de réaction se présente sous forme de précipités éparpillés au sein du tissu.

G. x 180

E. - Activité acétylcholinestérasique dans le myocarde d'un tube cardiaque différencié en culture in vitro en milieu liquide.

L'activité enzymatique se présente sous forme de sites localisés et par une coloration plus foncée du tissu au voisinage des sites.

G. x 180

F. - Activité cholinestérasique non spécifique dans un tube cardiaque différencié in vitro. L'activité est diffuse.

G. x 200

G. - Activité acétylcholinestérasique dans du tissu myocardique différencié en culture in vitro par le mésoderme isolé de l'aire précardiaque, après 18 jours de culture. Les sites enzymatiques sont bien délimités.

G. x 220

H. - Activité cholinestérasique non spécifique diffuse et généralisée dans du tissu myocardique différencié en culture in vitro à partir du feuillet mésodermique isolé, après 21 jours de culture.

G. x 200

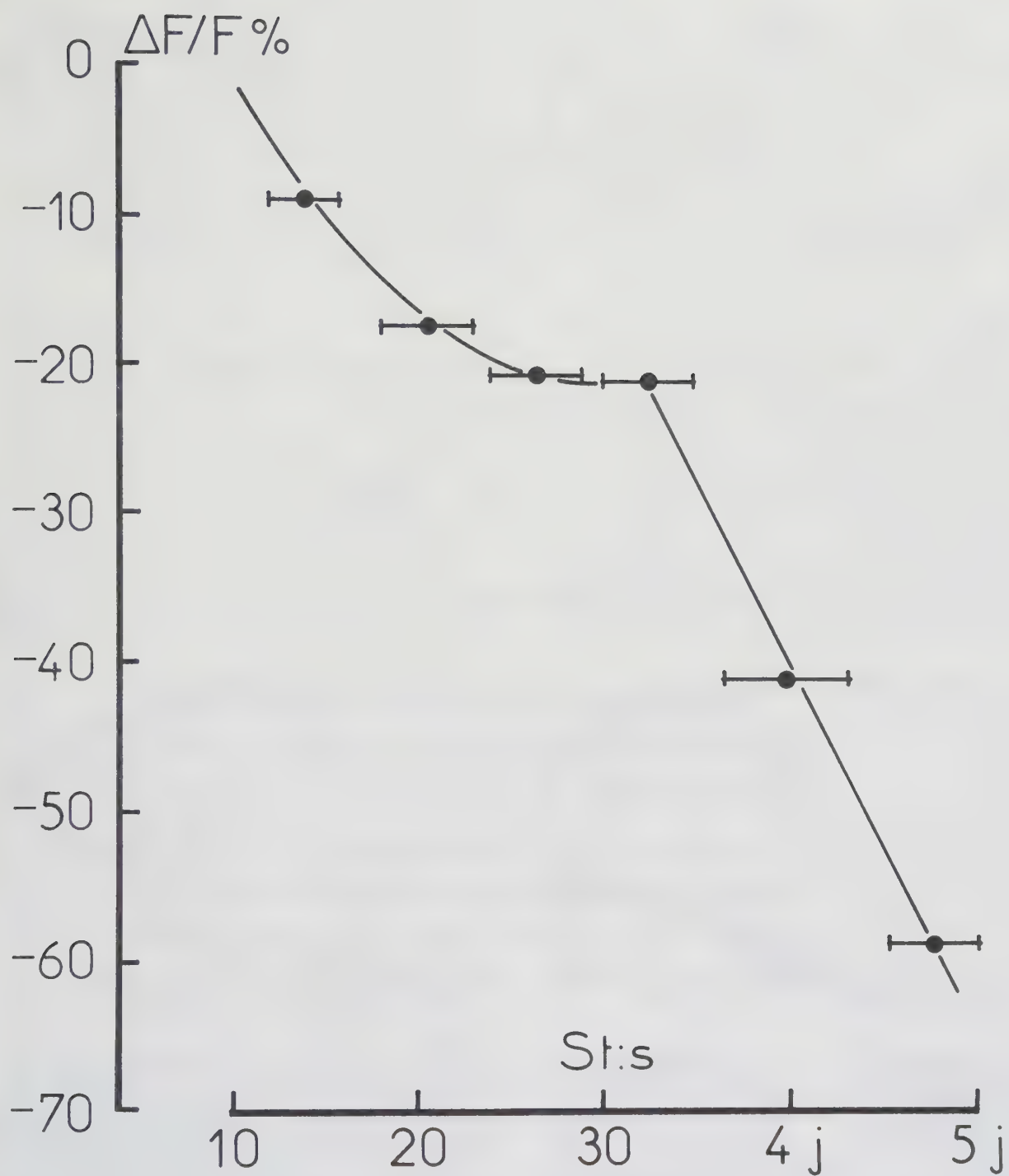


FIGURE 40

FIGURE 41

Action d'un milieu hyposodique (Na/10) sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet.

A. - Au deuxième jour de l'incubation.

B. - Au troisième jour de l'incubation.

T : Potentiel d'action enregistré dans le milieu normal.

Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action du milieu hyposodique.

Le ralentissement de la phase ascendante du potentiel d'action s'observe plus rapidement pour le coeur de 3 jours que pour celui de 2 jours. A 3 jours, l'activité électrique spontanée cesse après 15 minutes de perfusion par le milieu hyposodique.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

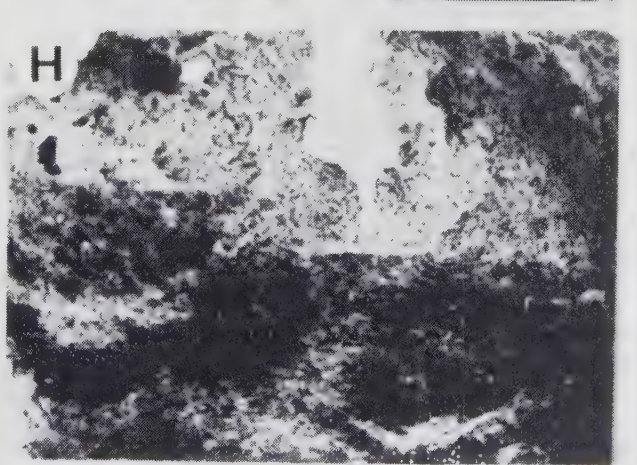
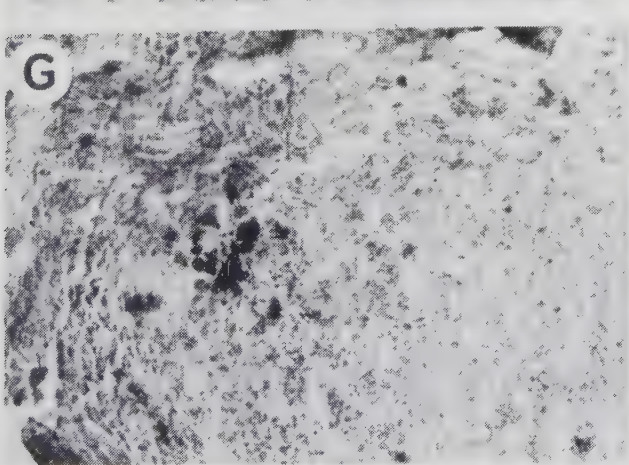
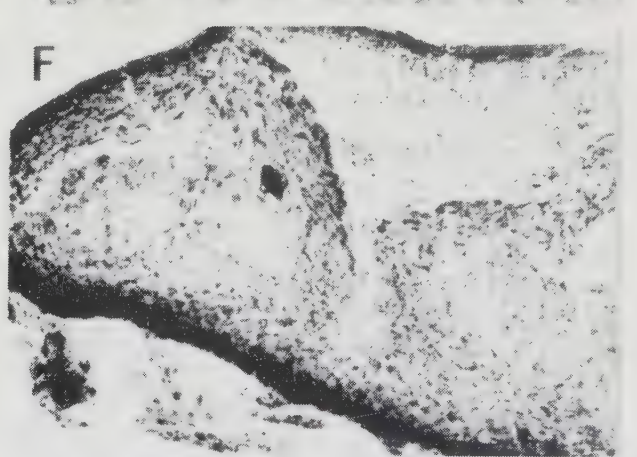
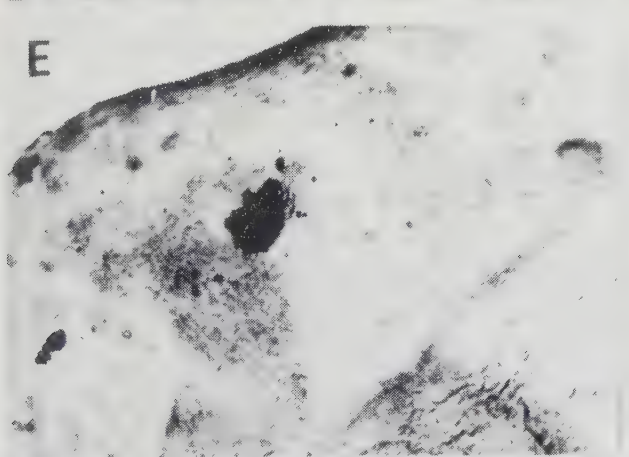
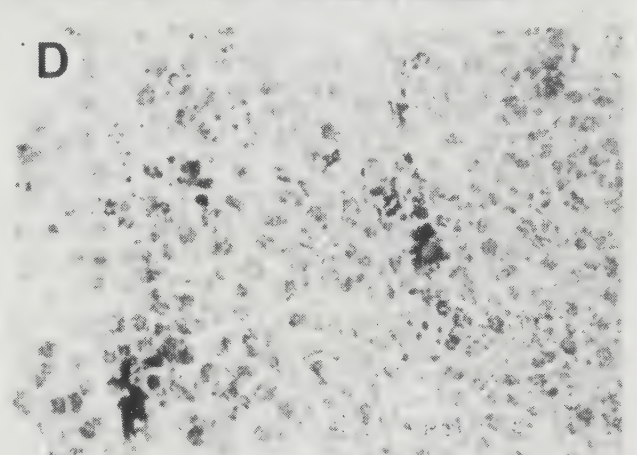
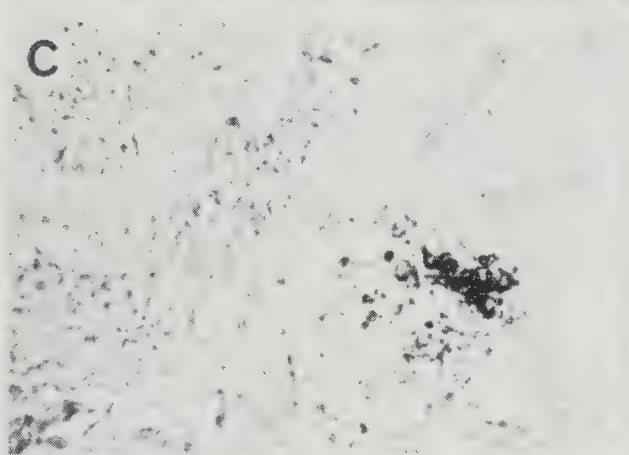
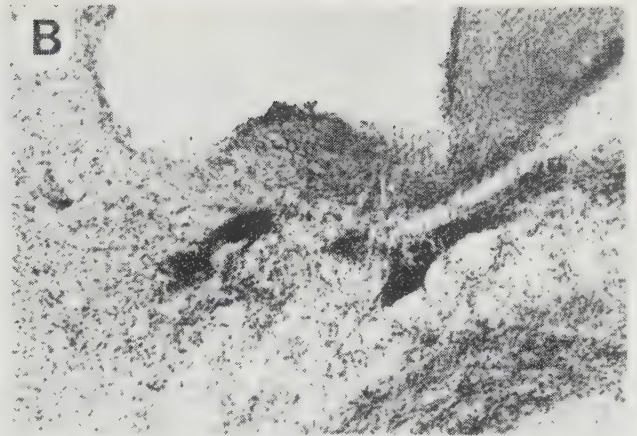


FIGURE 39

FIGURE 40

Effet chronotrope en fonction du rythme initial ($\Delta F/F\%$) d'un milieu hyposodique ($Na/10$) sur le coeur de l'embryon de poulet à divers stades du développement (St : s = stade; e, nombre de somites, puis 4 jours et 5 jours).

Les barres horizontales indiquent les classes de stades de développement considérées (Tableau VIII) et les points les valeurs moyennes obtenues pour chacune de ces classes.

On constate une nette augmentation de la sensibilité à la privation de sodium après le stade de 30 somites.

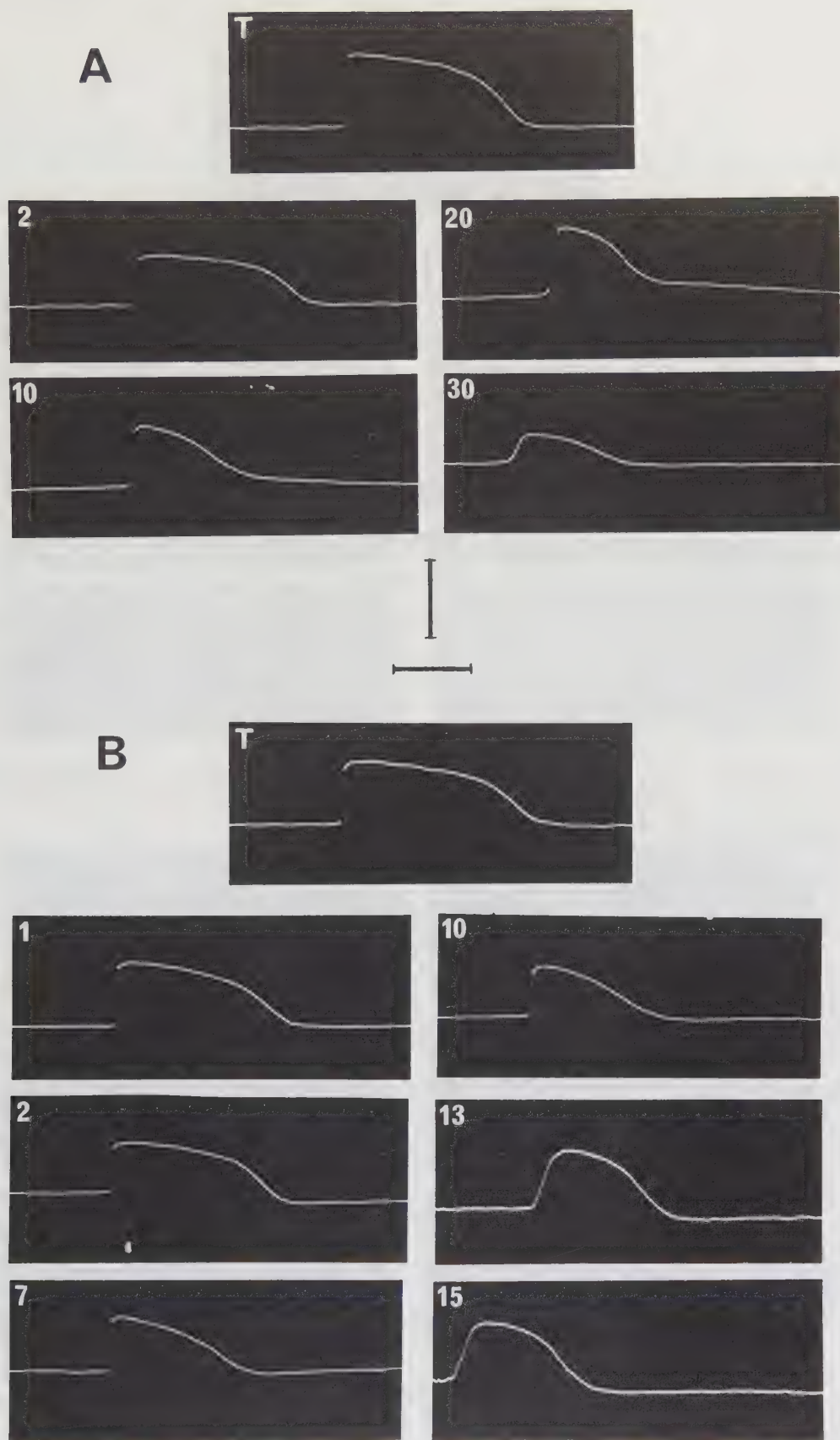


FIGURE 41

FIGURE 42

Action du milieu Na O sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet.

A. : Coeur de 4 jours d'incubation

B. : Lambeau ventriculaire du coeur de 19 jours d'incubation.

T. : Potentiel d'action enregistré dans le milieu normal.

Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action du milieu Na O.

La vitesse de la phase ascendante du potentiel d'action est notablement moins affectée à 19 jours qu'à 4 jours.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

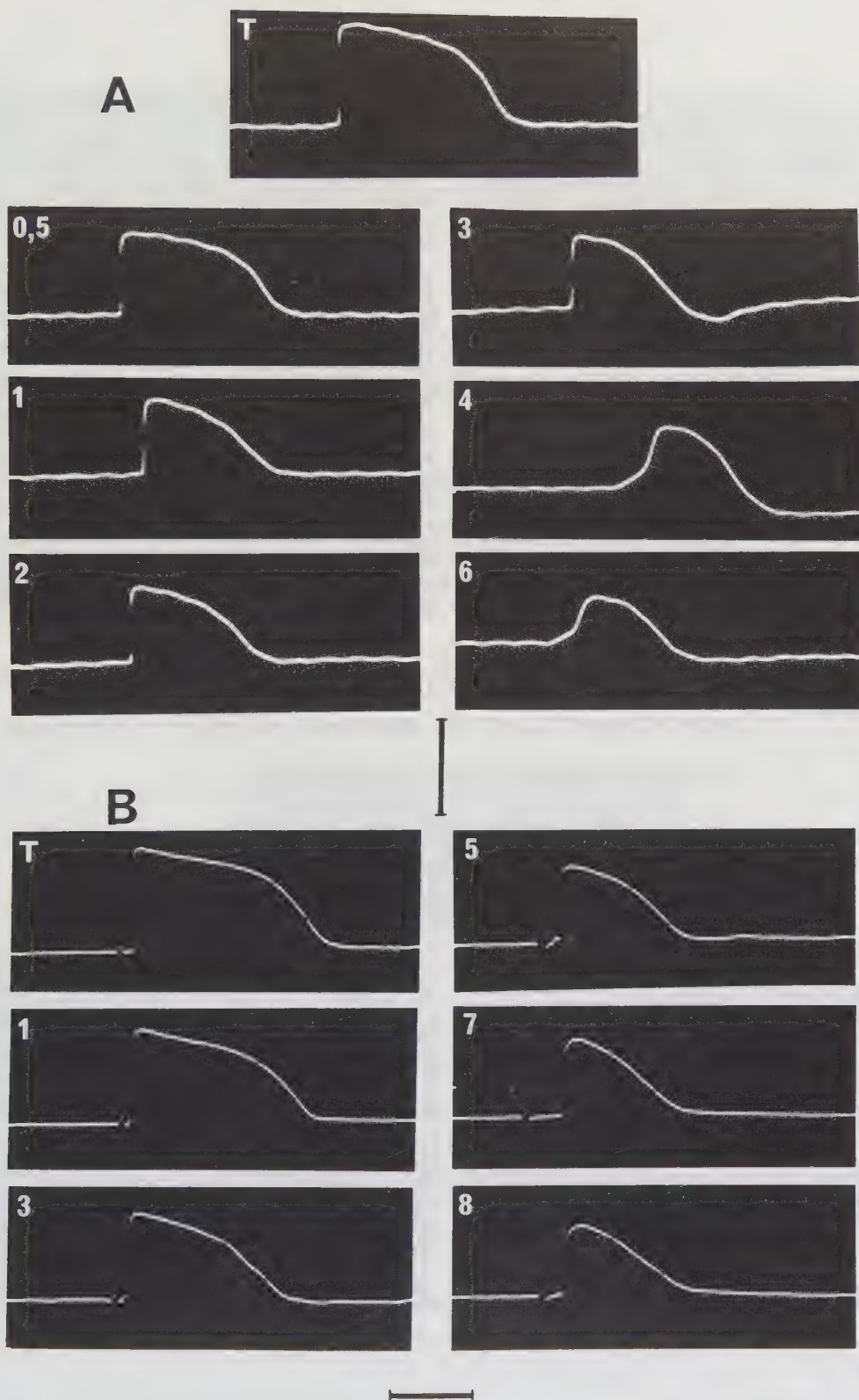


FIGURE 42

FIGURE 43

Action d'un milieu hyposodique (NA/10) sur l'activité électrique.

A. - Fragment ventriculaire du coeur d'un embryon de 4 jours cultivé in vitro pendant 7 jours. L'arrêt de l'activité se produit en 5 minutes environ.

B. - Tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque. L'activité spontanée est maintenue pendant environ 20 minutes.

T. : Activité électrique enregistrée dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action du milieu Na/10.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

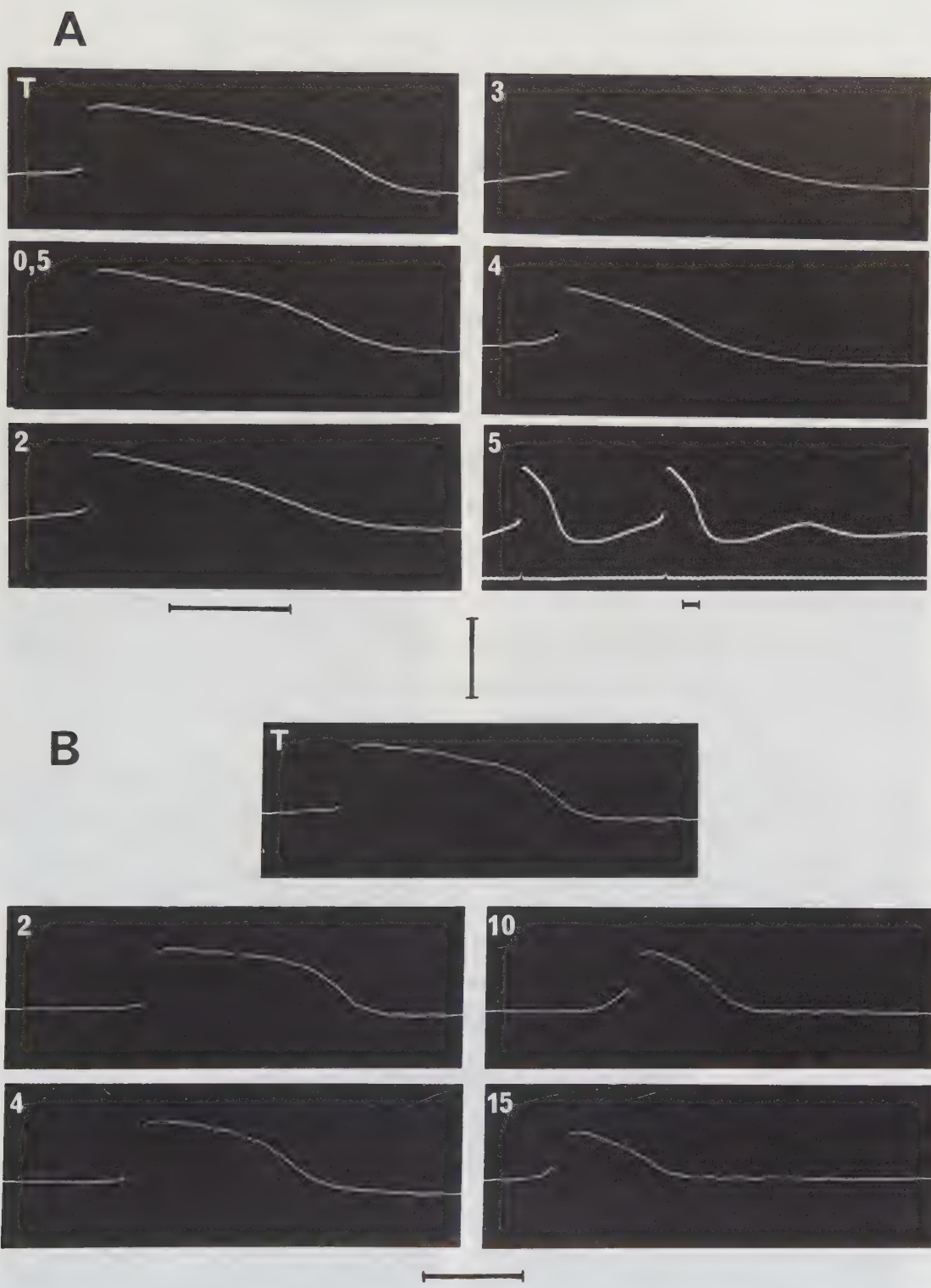


FIGURE 43

FIGURE 44

Action de milieux hypocalciques sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet.

- A. - Coeur de 2 jours, action du milieu Ca/10. Allongement transitoire de la durée du P.A. ; maintien prolongé d'une activité spontanée malgré le ralentissement de la phase ascendante.
- B. - Coeur de 2 jours, action du milieu Ca O. L'arrêt de l'activité se produit en 10 minutes environ.
- C. - Coeur de 3 jours, action du milieu Ca/10. La phase ascendante du P.A. est moins rapidement affectée qu'à 2 jours. L'activité est maintenue pendant 30 minutes environ.

T. : Activité électrique enregistrée dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des milieux hypocalciques.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

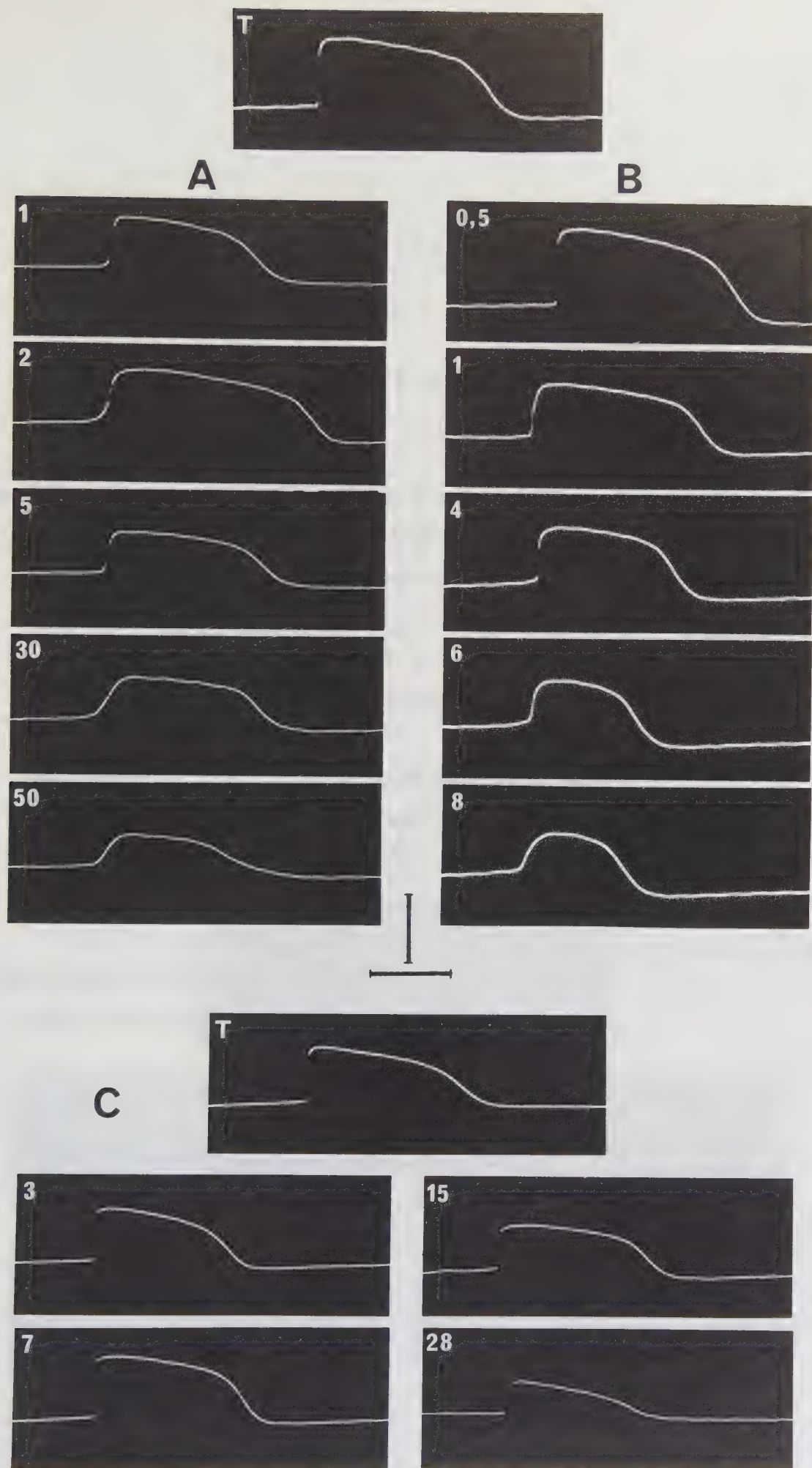


FIGURE 44

FIGURE 45

Action de milieux hypocalciques sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet.

- A. - Coeur de 4 jours. Action du milieu Ca O. La vitesse de la phase ascendante est peu modifiée. L'amplitude du P.A. diminue mais l'activité est longtemps maintenue.
- B. - Coeur de 4 jours. Action du milieu Ca/10. Les effets sont identiques mais d'apparition plus tardive.
- C. - Lambeau ventriculaire du coeur de 19 jours. Action du milieu Ca O. L'activité électrique est maintenue très longtemps, la vitesse de la phase ascendante n'est pas modifiée.

T. : Potentiels d'action enregistrés dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des milieux hypocalciques.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

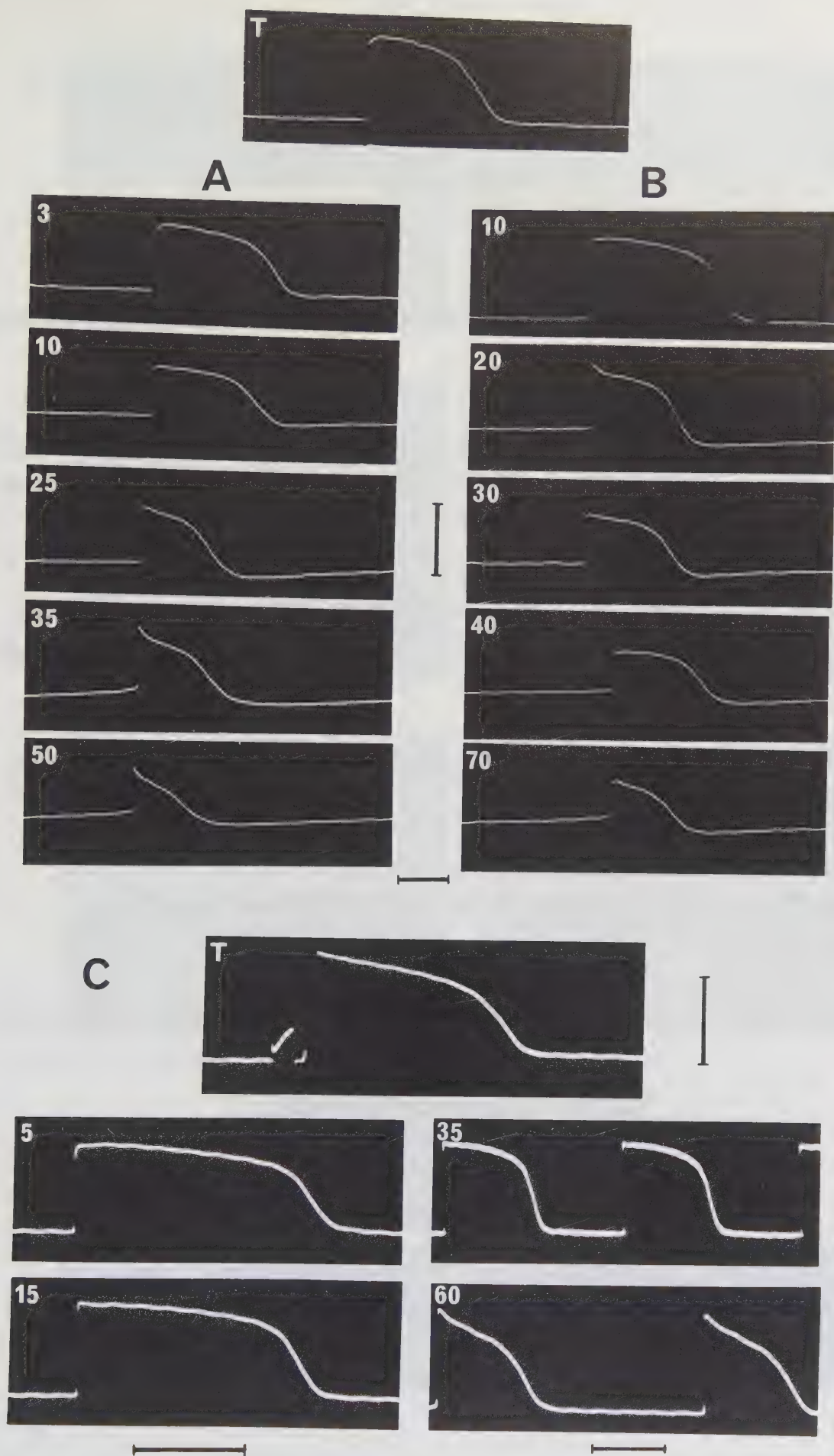


FIGURE 45

FIGURE 46

Action de milieux hypocalciques sur l'activité électrique de tissus cardiaques chez l'embryon de poulet.

- A. - Fragments ventriculaires d'un embryon de 4 jours cultivé in vitro.
Action du milieu Ca/10. Effets comparables à ceux qui sont obtenus in situ au même stade (Fig. 45).
- B. - Tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque. Action du milieu Ca/10. L'activité spontanée cesse en 6 à 8 minutes.
- C. - Sur le même tissu qu'en B. , action du milieu Ca O. Arrêt très rapide de l'activité.
- D. - Enregistrements à plus grande vitesse du cas précédent.

T. : Potentiels d'action enregistrés dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des milieux hypocalciques.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

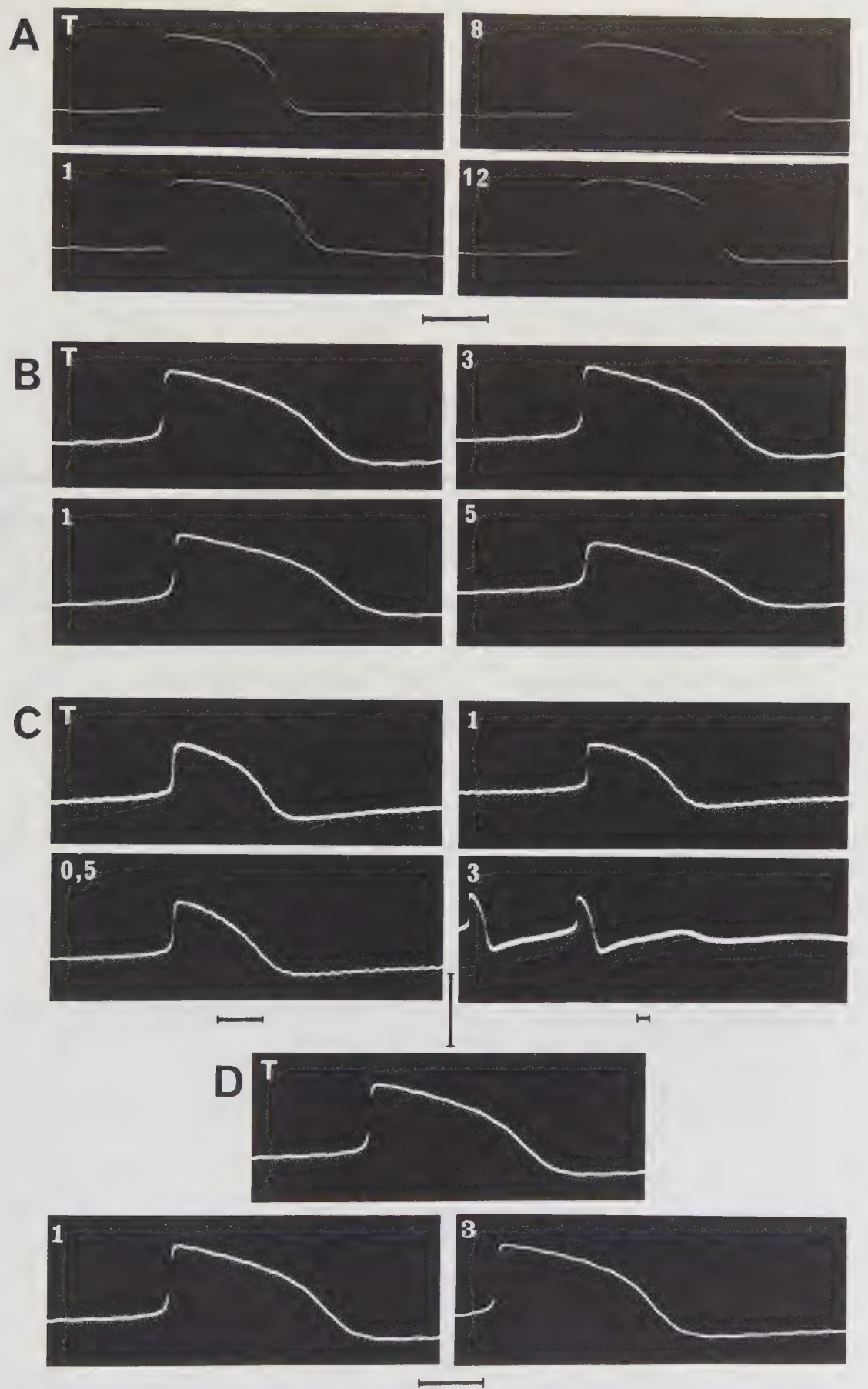


FIGURE 46

FIGURE 47

Valeur du potentiel de repos (E_m) en fonction de la concentration potassique extracellulaire ($[K^+]_o$), à 3 jours ($\circ$), 5 jours (Δ) et 15 jours ($\bullet$) du développement chez l'embryon de poulet. Les courbes indiquent les valeurs théoriques obtenues par l'équation du champ constant placée en cartouche pour différents rapports de P_{Na}/P_K de 0,001 à 0,2. La valeur estimée pour la concentration potassique intracellulaire est de 150 mM à tous les stades.

Il apparaît une évolution de E_m et du rapport P_{Na}/P_K avec l'âge de l'embryon.

(d'après SPERELAKIS et SHIGENOBU, 1972)

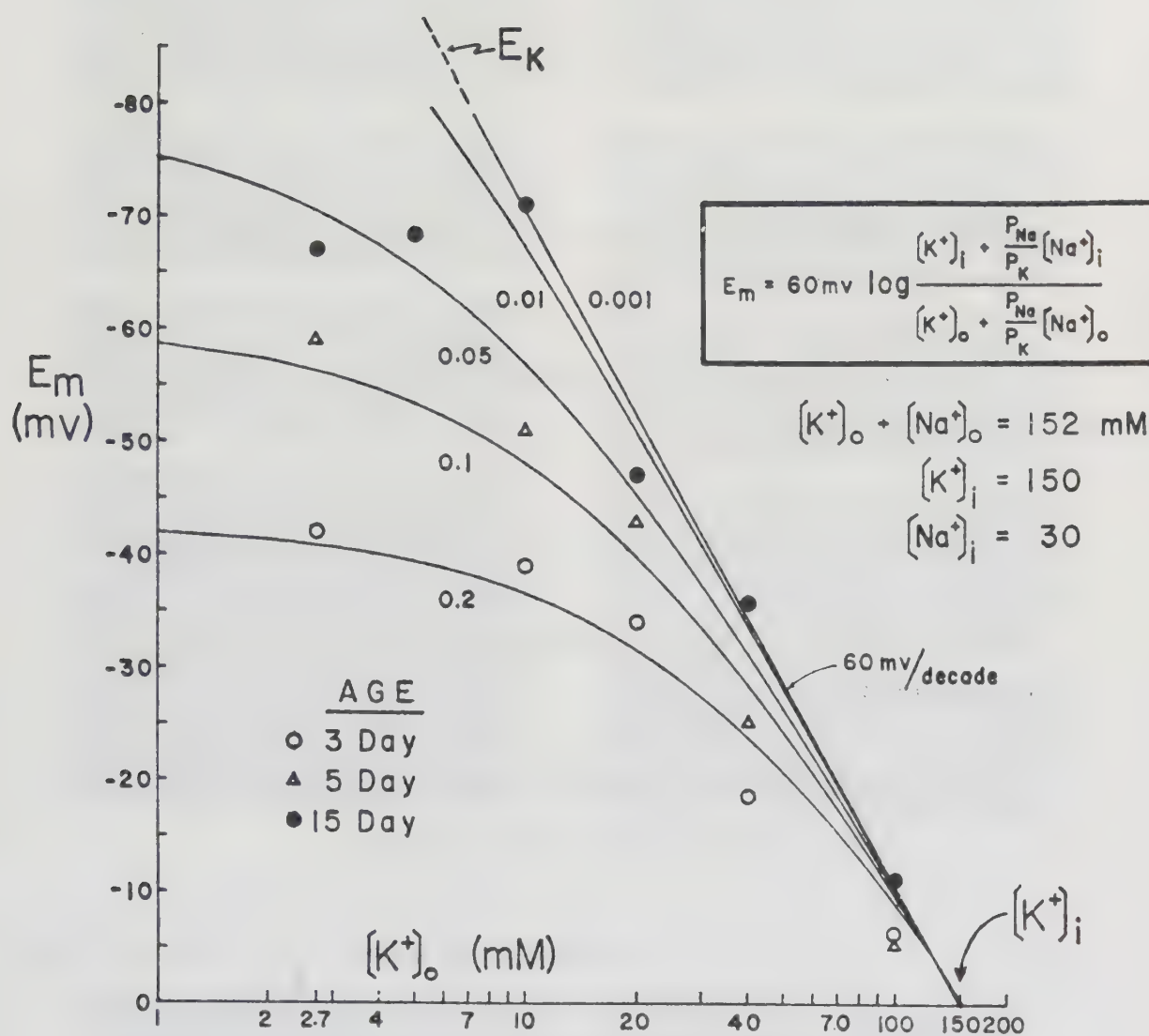


FIGURE 47

FIGURE 48

Action du milieu hypopotassique K/10 sur l'activité électrique ventriculaire du coeur embryonnaire de poulet.

A. - Coeur de 2 jours. L'activité spontanée cesse après 45 minutes environ.

B. - Coeur de 3 jours. L'activité persiste plus d'une heure.

Dans les deux cas, le milieu hypopotassique modifie le décours du plateau du potentiel d'action.

C. - Coeur de 3 jours : activité par salves enregistrée après une heure d'action du milieu hypopotassique.

T. : Potentiels d'action enregistrés dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action du milieu hypopotassique.

Calibrage horizontal (pour A et B) : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

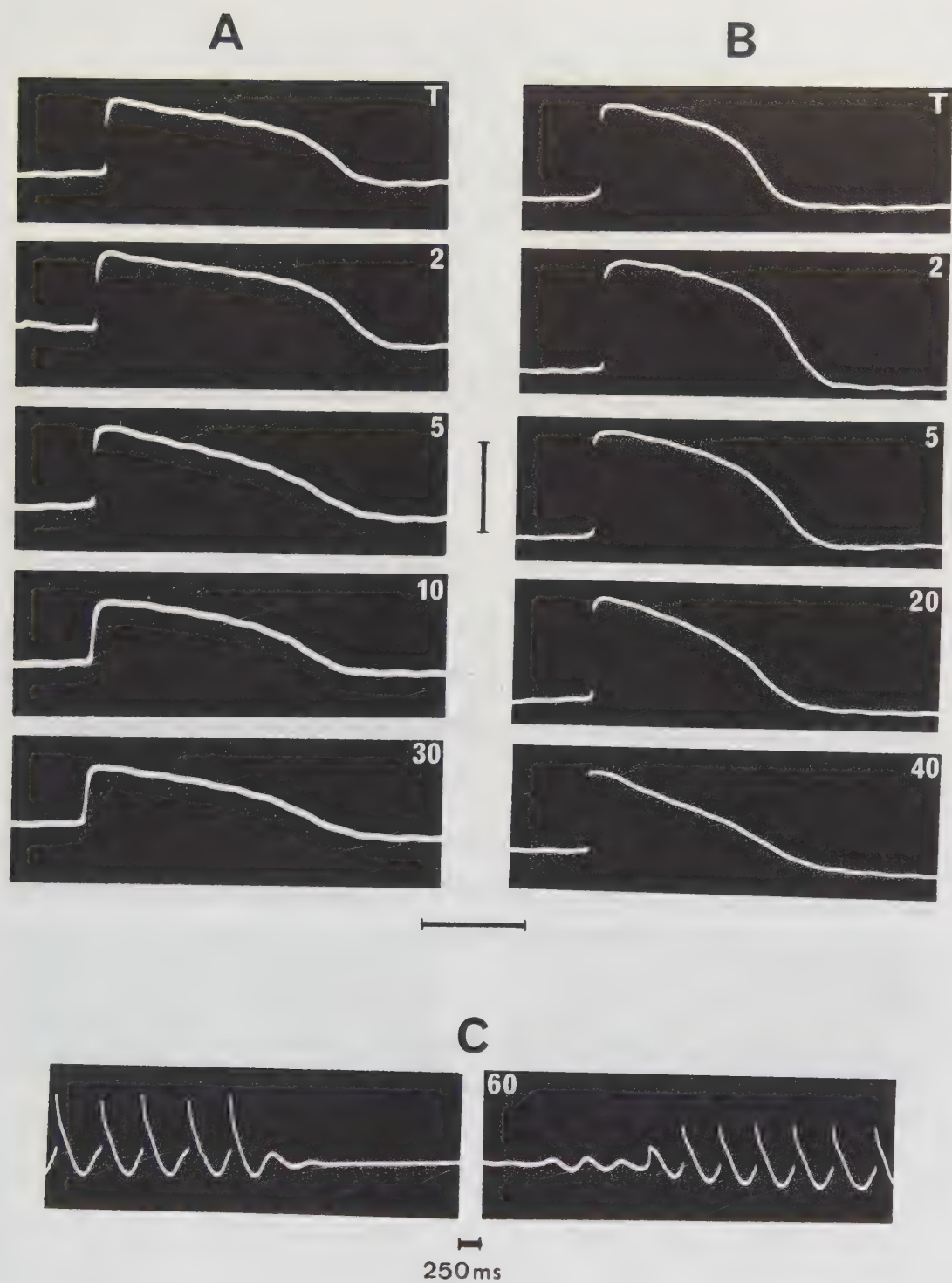


FIGURE 48

FIGURE 49

Action du milieu hypopotassique K/10 sur l'activité électrique ventriculaire du coeur embryonnaire de poulet.

A. - Coeur de 4 jours.

B. - Lambeau ventriculaire du coeur de 19 jours. Les modifications de l'activité électrique produite par les milieux hypopotassiques surviennent plus tardivement qu'aux stades précédents.

T. : Activité électrique enregistrée dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action du milieu hypopotassique.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

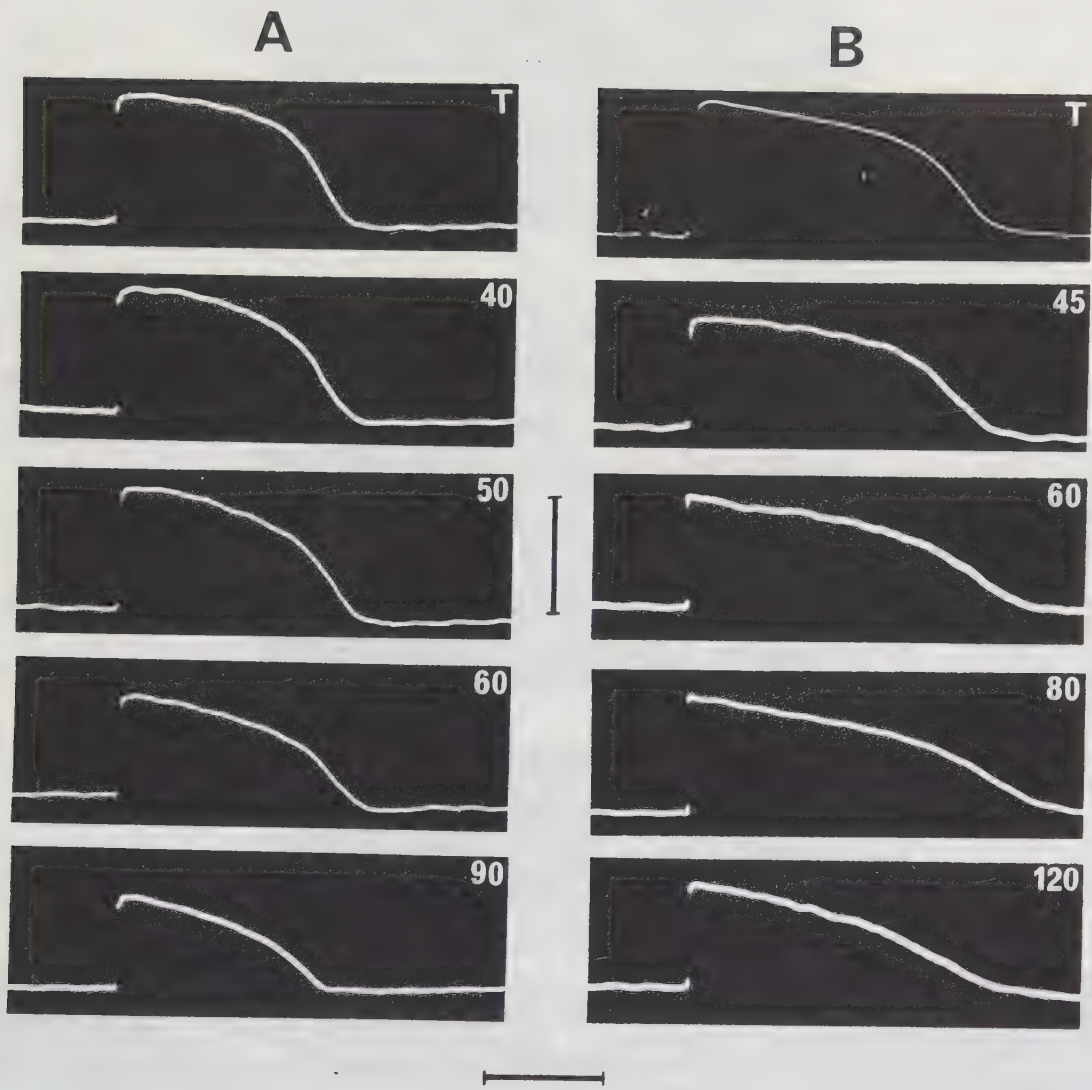


FIGURE 49

FIGURE 50

Action de milieux hypopotassiques sur l'activité électrique de tissus cardiaques chez l'embryon de poulet.

- A. - Fragment ventriculaire d'un embryon de 4 jours, cultivé in vitro.
Action du milieu K/10. Activité par salves enregistrée après
20 minutes d'action de ce milieu.
- B. - Même tissu. Action du milieu K O. L'activité est supprimée en
4 à 5 minutes.
- C. - Tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme
précardiaque. Action du milieu K O. L'activité cesse en 15
minutes environ.

T. : Activité électrique enregistrée dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action
des milieux hypopotassiques.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

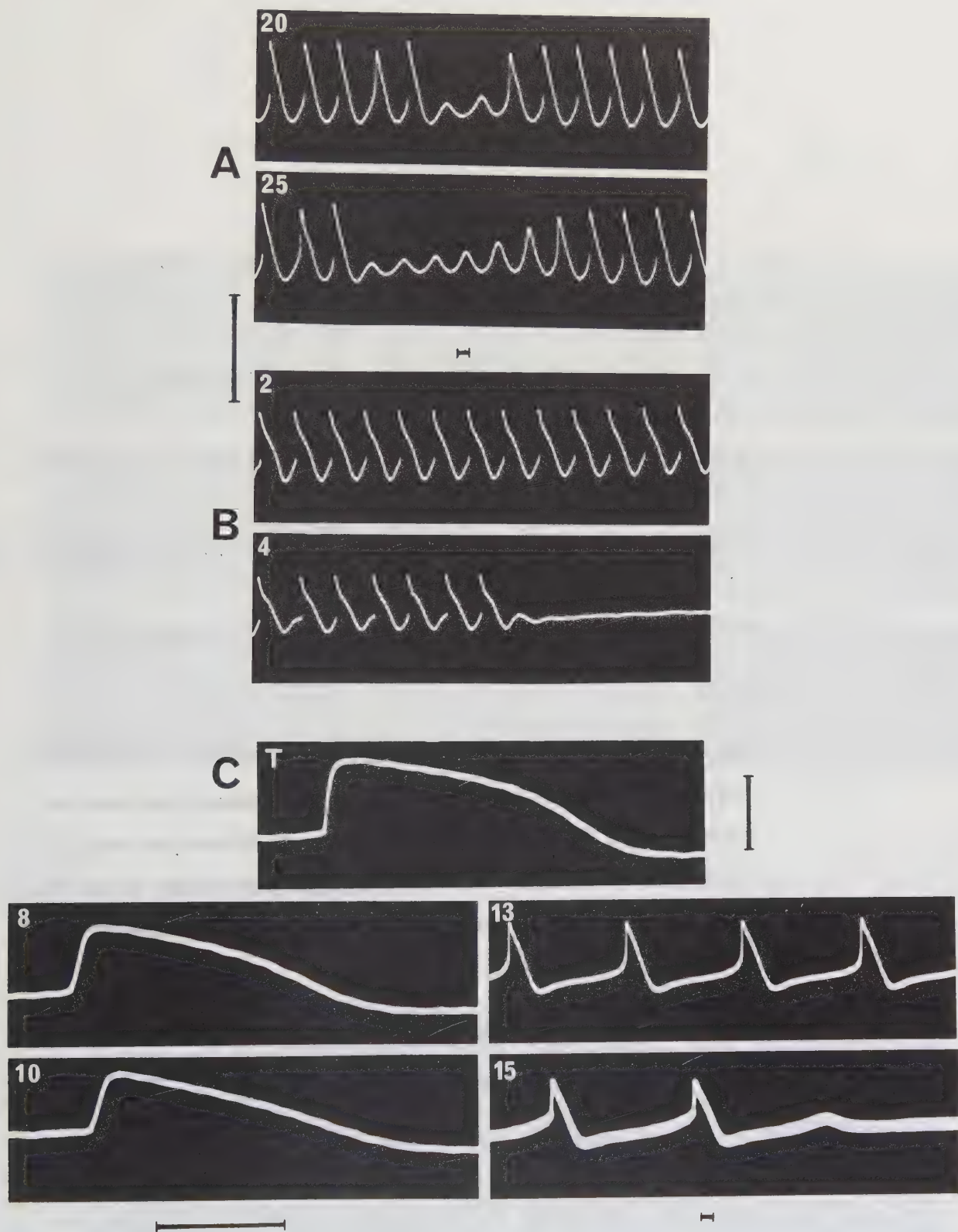


FIGURE 50

FIGURE 51

Action de la TTX et des ions Mn^{2+} sur l'activité électrique ventriculaire chez un embryon de stade 26 somites.

T. : Activité électrique dans le milieu normal.

A. - Action de la TTX (a-après 4 mn; b-après 15 mn; c-après 35 mn).

B. - Action des ions Mn^{2+} (a-après 4 mn; b-après 16 mn; c-après 26 mn).

C. - Action simultanée de la TTX et des ions Mn^{2+} (a-après 2 mn; b-après 4 mn; c-après 5 mn).

D. - Sur le même matériel, l'application de courants hyperpolarisants augmente l'amplitude du P.A. au cours des premières minutes d'action de la TTX (tracé inférieur). Après 30 minutes environ de l'action de l'inhibiteur, les courants hyperpolarisants ne modifient ni l'amplitude du P.A. ni la vitesse de sa phase ascendante.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

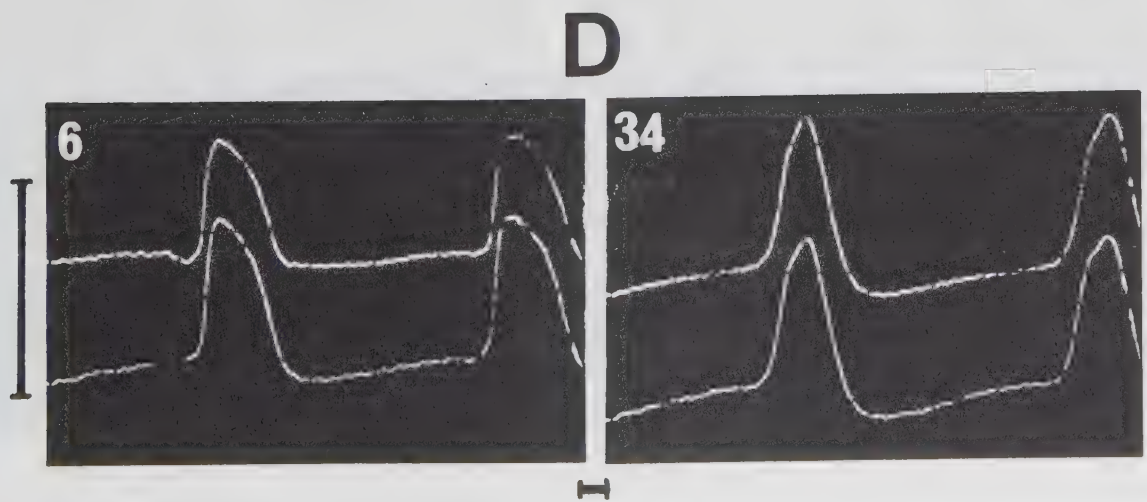
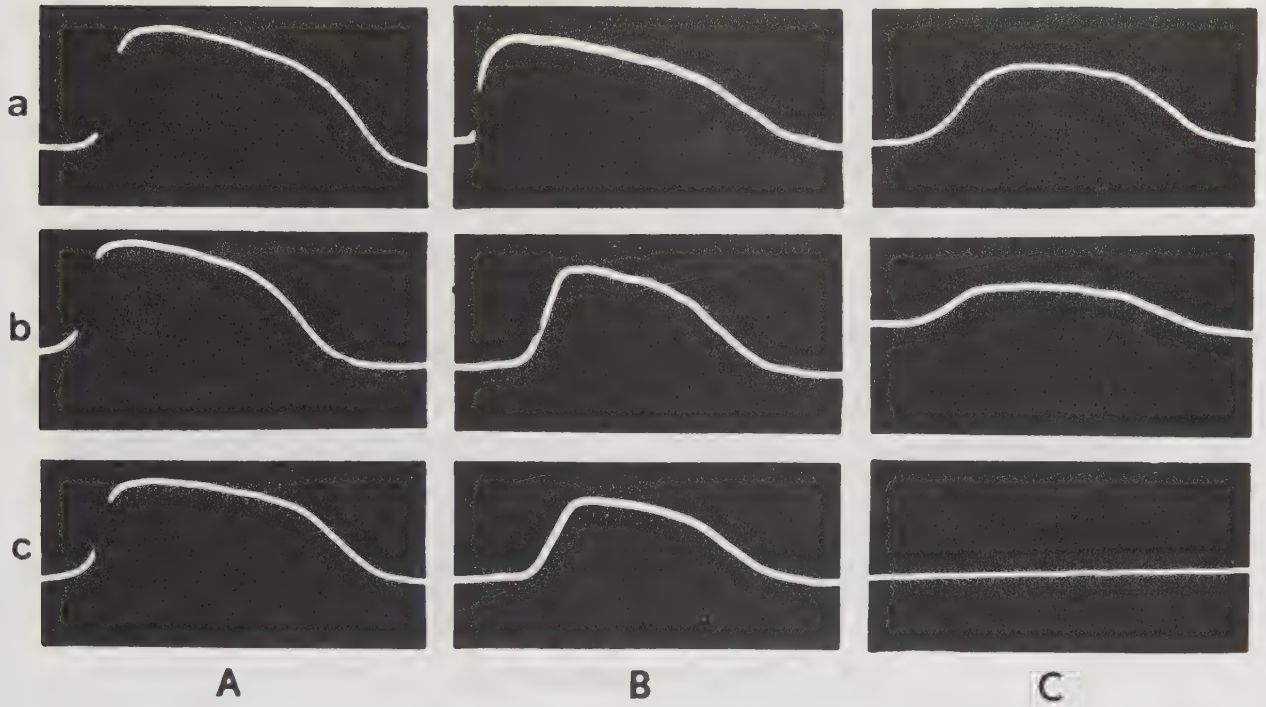
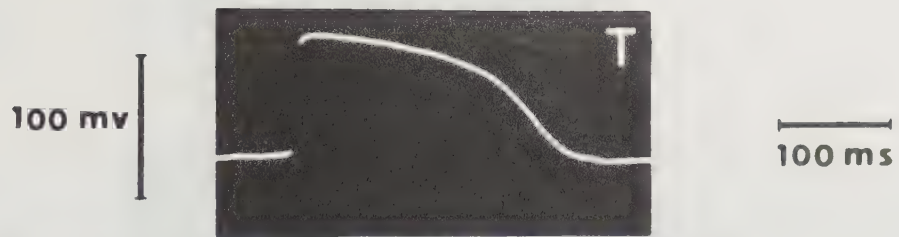


FIGURE 51

FIGURE 52

- A. - Action du TEA (2 mM) sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet de 2 jours. Allongement considérable de la durée du P.A.
- B. - Action des ions La^{3+} (2 mM) sur le même matériel. Arrêt extrêmement rapide de l'activité.

T. : Enregistrement de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des milieux hypopotassiques.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

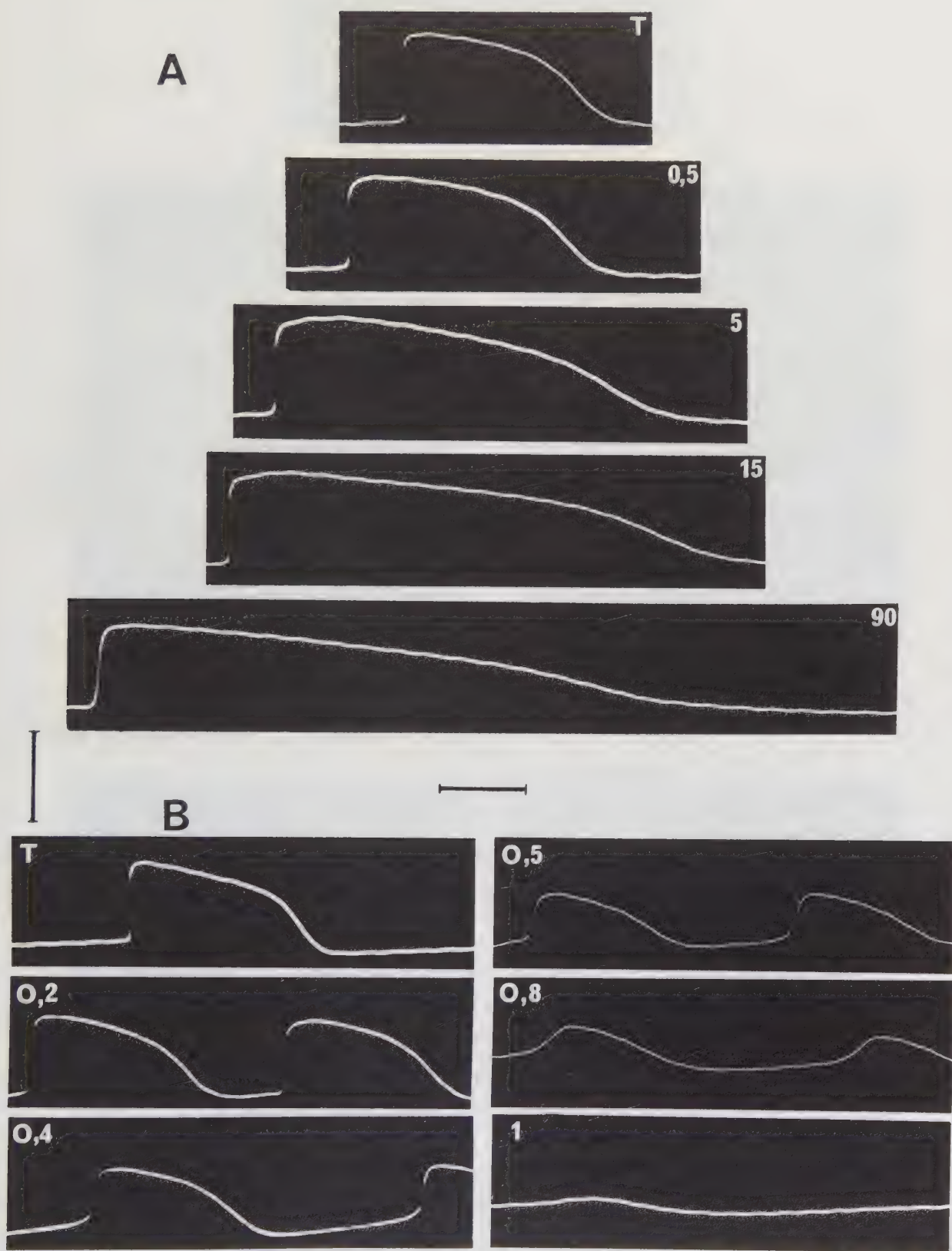


FIGURE 52

FIGURE 53

A. et B. , action de la TTX sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet.

en A : stade de 42 somites.

en B : stade de 37 somites.

Dans les deux cas, l'activité est supprimée en moins de 10 minutes.

Sur les tracés B on note un décrochement précédant la partie terminale de la phase ascendante du P.A.

C. - Action des ions Mn^{2+} sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de 3 jours.

Au cours des premières minutes d'action de l'inhibiteur, l'amplitude du P.A. est diminuée.

T. : Enregistrement de l'activité électrique dans le milieu normal.

Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

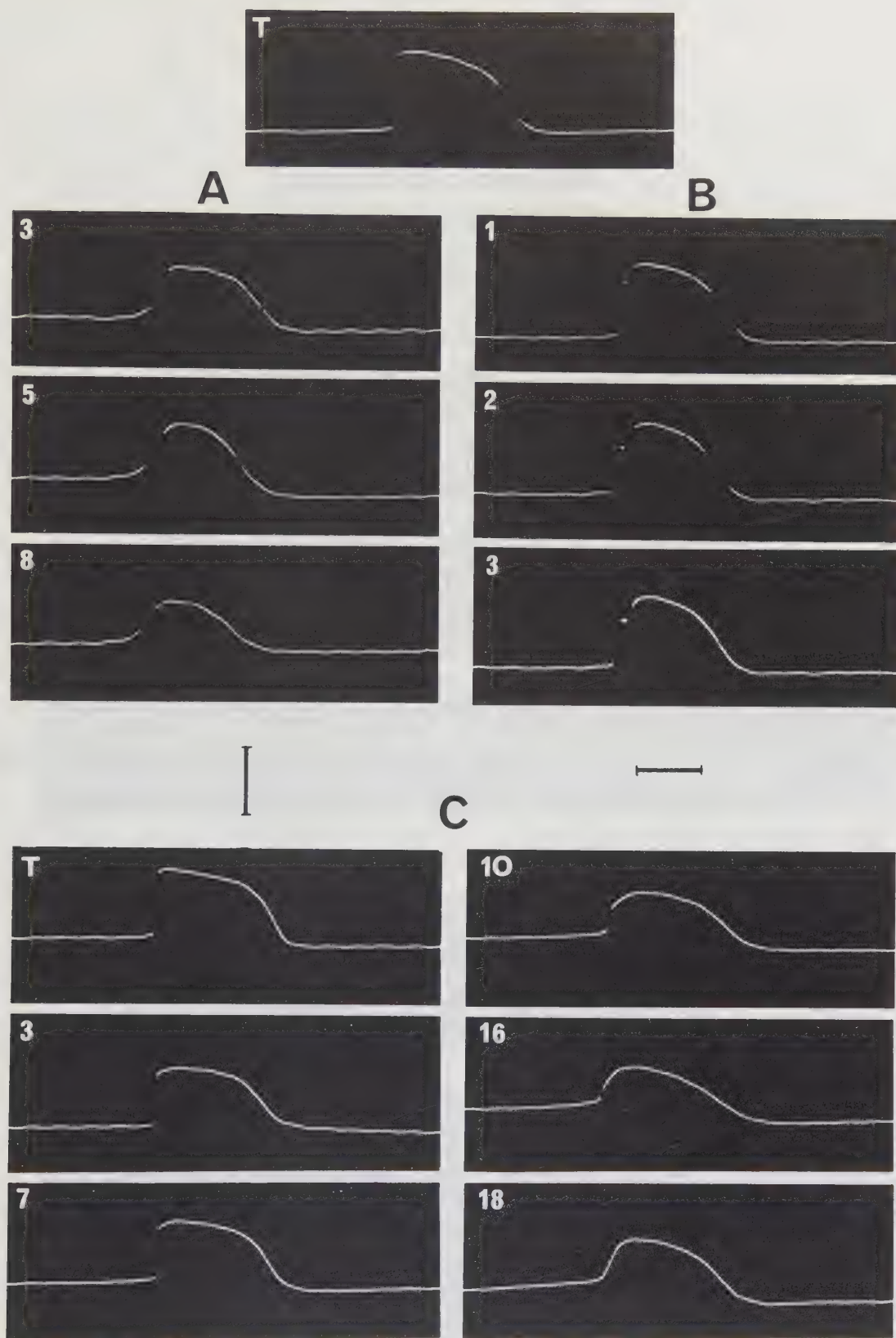


FIGURE 53

FIGURE 54

A. - Action du TEA (2 mM) sur l'activité électrique ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet de 3 jours.

Effets comparables à ceux qui sont observés au stade de 2 jours (Fig. 52).

B. - Action des ions La^{3+} (2 mM) sur le même matériel. Arrêt presque immédiat de l'activité.

T. : Enregistrements de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

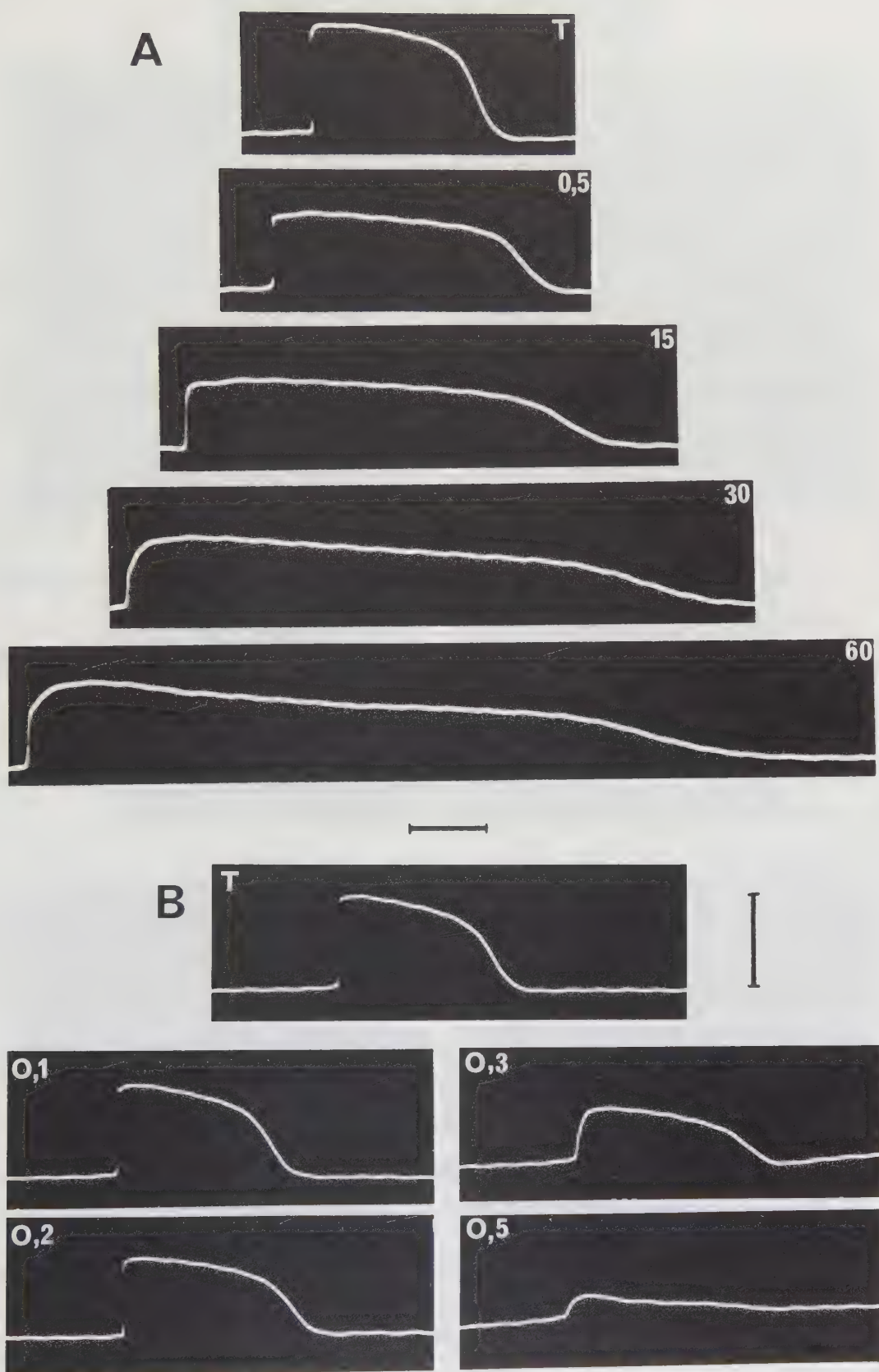


FIGURE 54

FIGURE 55

- A. - Action de la TTX ($5 \cdot 10^{-6}$ g/ml) sur l'activité électrique ventriculaire du coeur embryonnaire de poulet de 4 jours.

Ralentissement immédiat de la vitesse de la phase ascendante du P.A. et arrêt de l'activité en 10 minutes environ.

- B. - L'application d'un courant hyperpolarisant au début de l'action de la TTX produit une augmentation de l'amplitude du P.A. , ce qui ne se manifeste plus ensuite.

- C. - Action des ions Mn^{2+} (2mM) sur le même matériel.

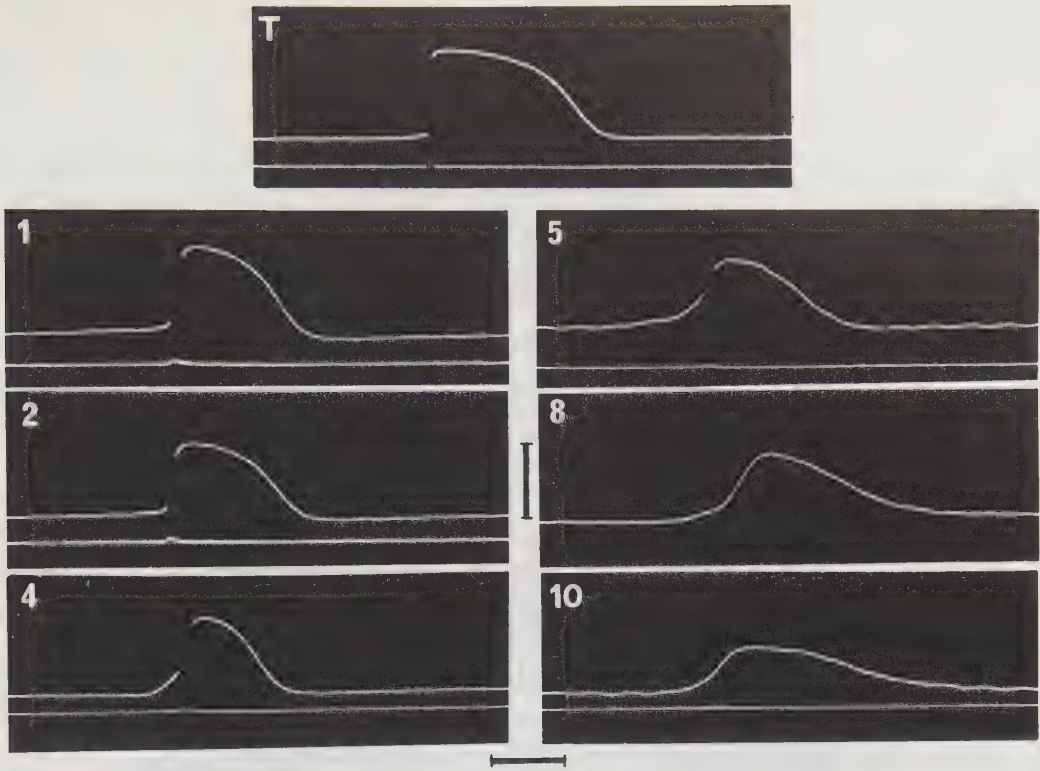
Les modifications du P.A. et l'arrêt de l'activité se produisent plus tardivement qu'au 3ème jour du développement.

T. : Enregistrements de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

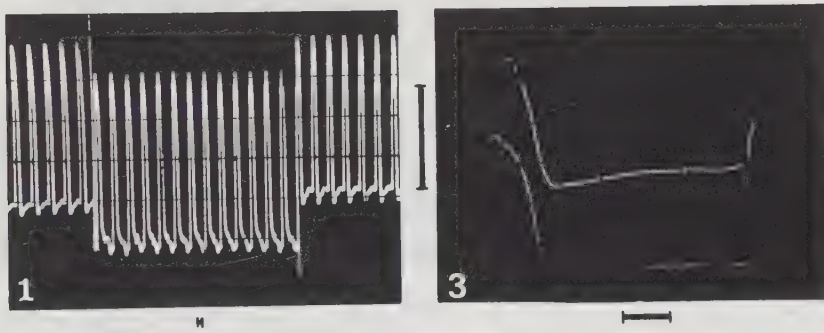
Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

A



B



C

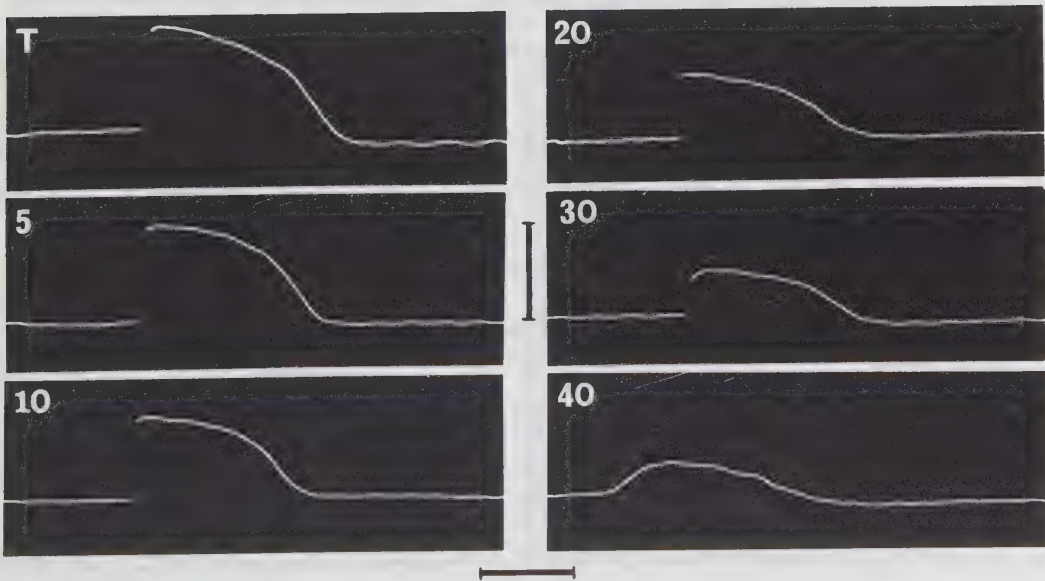


FIGURE 55

FIGURE 56

A. - Action du TEA (2mM) sur l'activité électrique ventriculaire du coeur embryonnaire de poulet de 4 jours.

L'allongement de la durée du P.A. est d'apparition rapide et devient très important.

B. - Action des ions La^{3+} (2mM) sur le même matériel.

Contrairement au cas des stades plus jeunes, l'activité persiste environ 30 minutes.

T. : Enregistrements de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

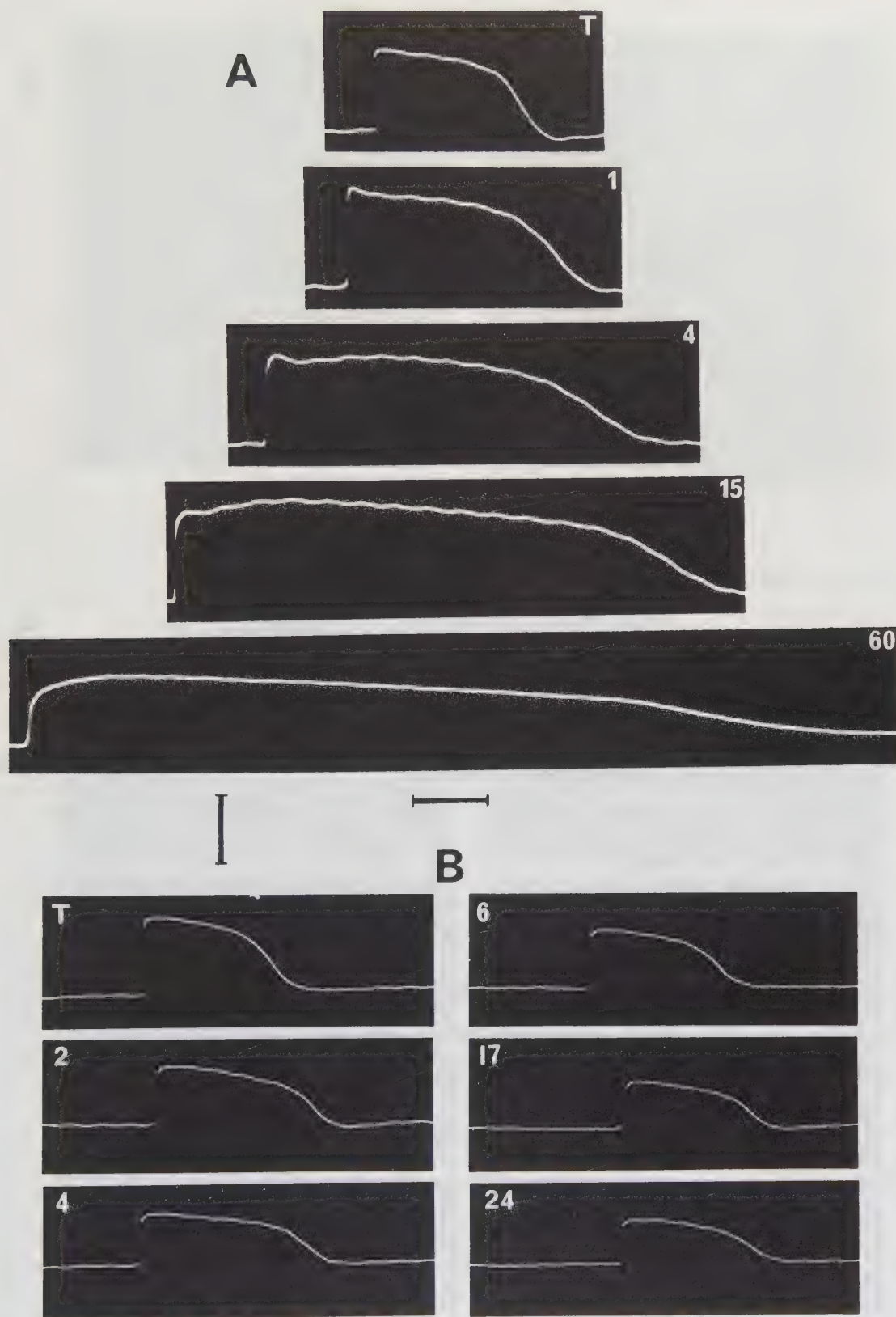


FIGURE 56

FIGURE 57

A. - Action de la TTX ($5 \cdot 10^{-6}$ g/ml) sur l'activité électrique d'un lambeau ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet de 19 jours.

Action rapide de l'inhibiteur et arrêt de l'activité en moins de 10 minutes.

B. - Action des ions Mn^{2+} (2mM) sur le même matériel.

L'activité électrique, bien que modifiée, persiste longtemps.

T. : Enregistrements de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

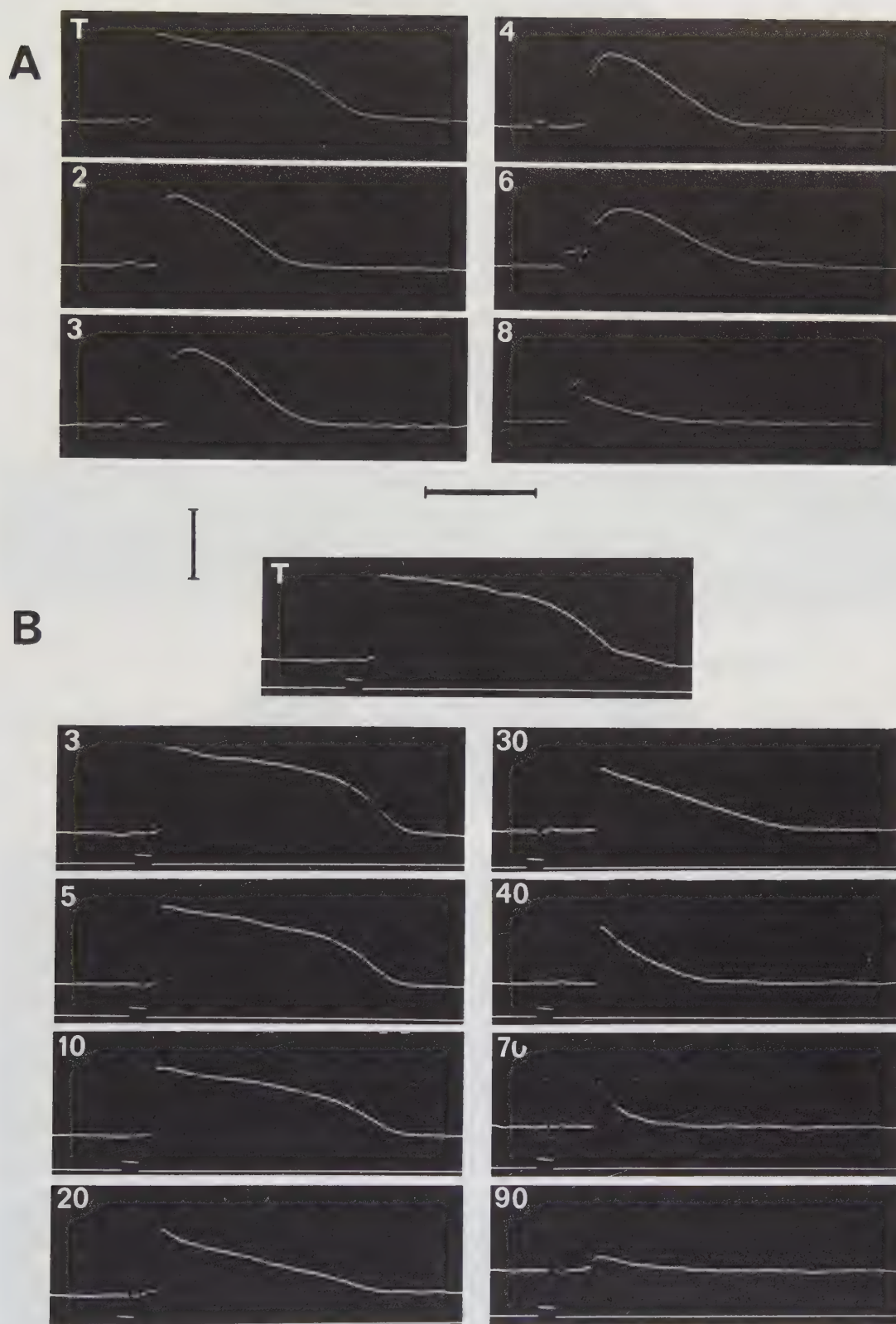


FIGURE 57

FIGURE 58

A. - Action du TEA (2 mM) sur l'activité électrique d'un lambeau ventriculaire du coeur de l'embryon de poulet de 19 jours.

L'augmentation de la durée du P.A. apparaît précocement.

B. et C. - Action des ions La^{3+} sur le même matériel.

En B., action des ions La^{3+} à la concentration de 2 mM. La préparation devient rapidement inexcitable.

En C., action des ions La^{3+} à la concentration de 1 mM. L'activité est maintenue pendant une heure environ.

T. : Potentiels d'action enregistrés dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

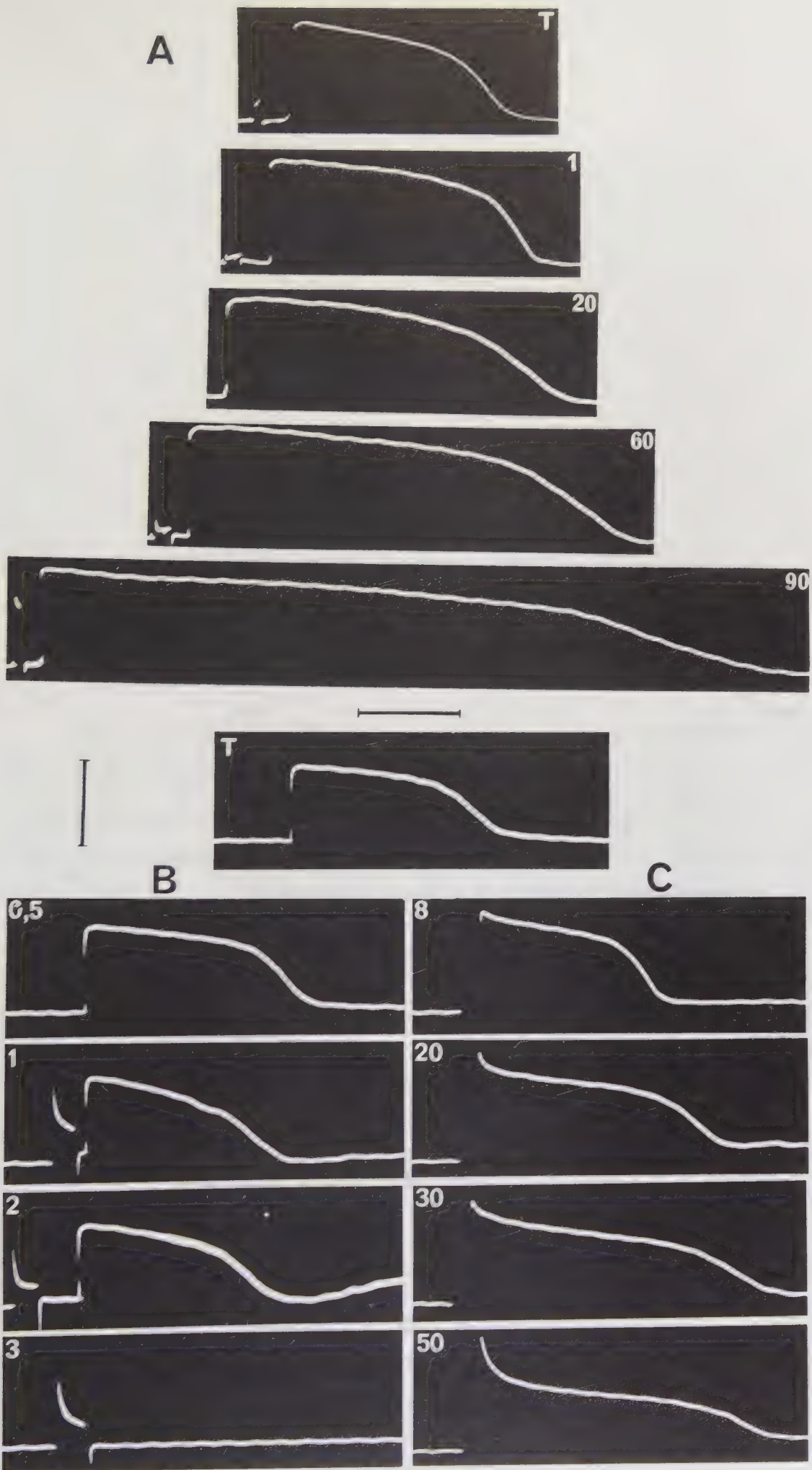


FIGURE 58

FIGURE 59

Représentation schématique de l'activité électrique (en trait plein) et de la participation du canal lent calcico-sodique (pointillé) à la phase ascendante du potentiel d'action à divers stades du développement de l'embryon de poulet.

Cette représentation, établie à partir des données expérimentales (action des milieux hyposodiques et hypocalciques, des ions Mn^{2+} , La^{3+} , de la TTX et du TEA) illustre la diminution de l'importance du canal lent dans la genèse de la phase ascendante du P.A. intervenant dès le 3ème jour de l'incubation et s'accroissant ensuite.

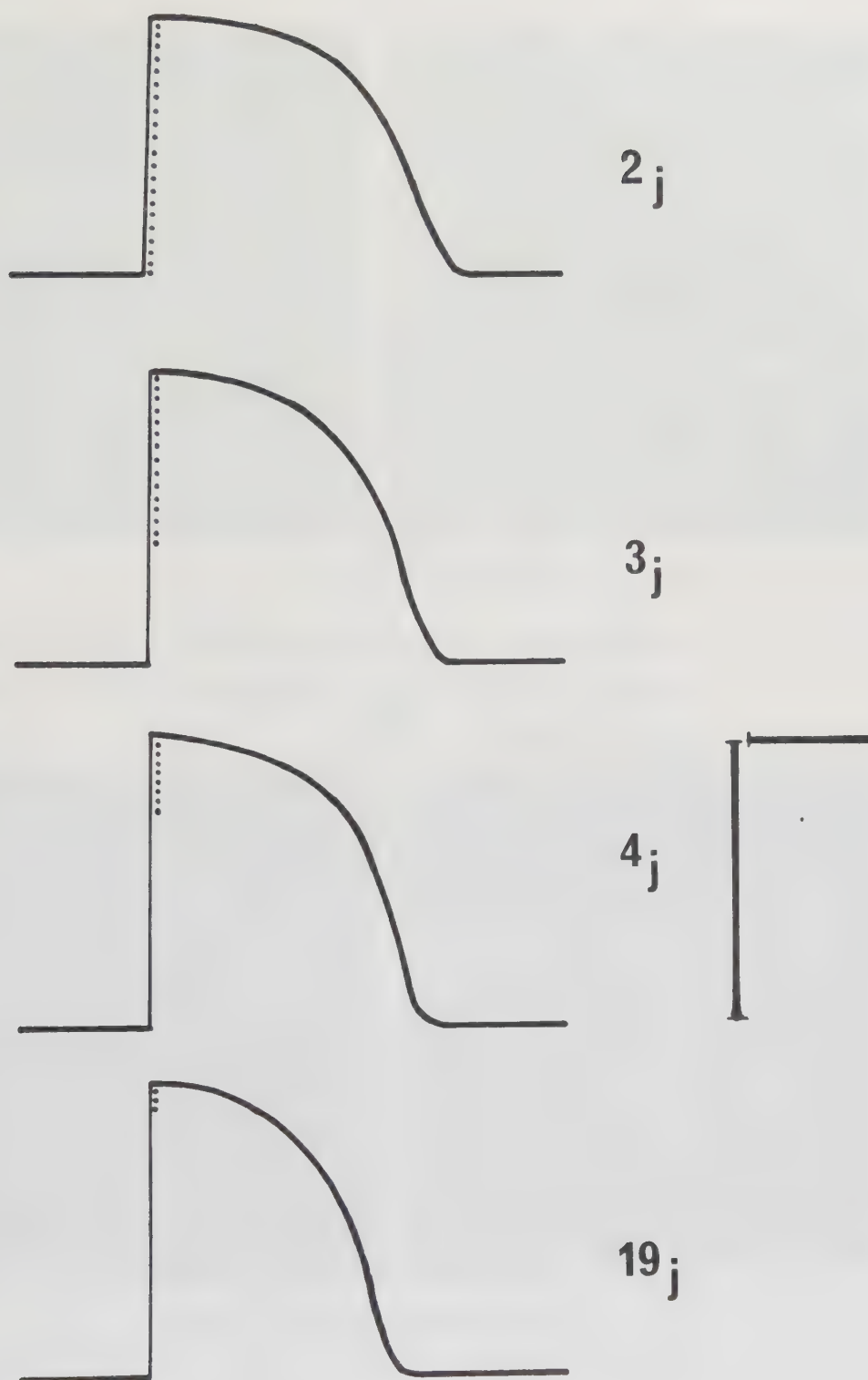


FIGURE 59

FIGURE 60

Action de la TTX et des ions Mn^{2+} sur l'activité électrique de fragments ventriculaires de coeur d'embryon de poulet de 4 jours, cultivés pendant 8 jours.

A. - Action de la TTX ($5 \cdot 10^{-6}$ g/ml).

Les effets sont identiques à ceux qui ont été décrits dans le cas du coeur de 4 jours in situ. L'arrêt de l'activité se produit après 12 minutes environ.

B. - Action des ions Mn^{2+} (2 mM).

L'activité électrique est maintenue pendant plus d'une heure.

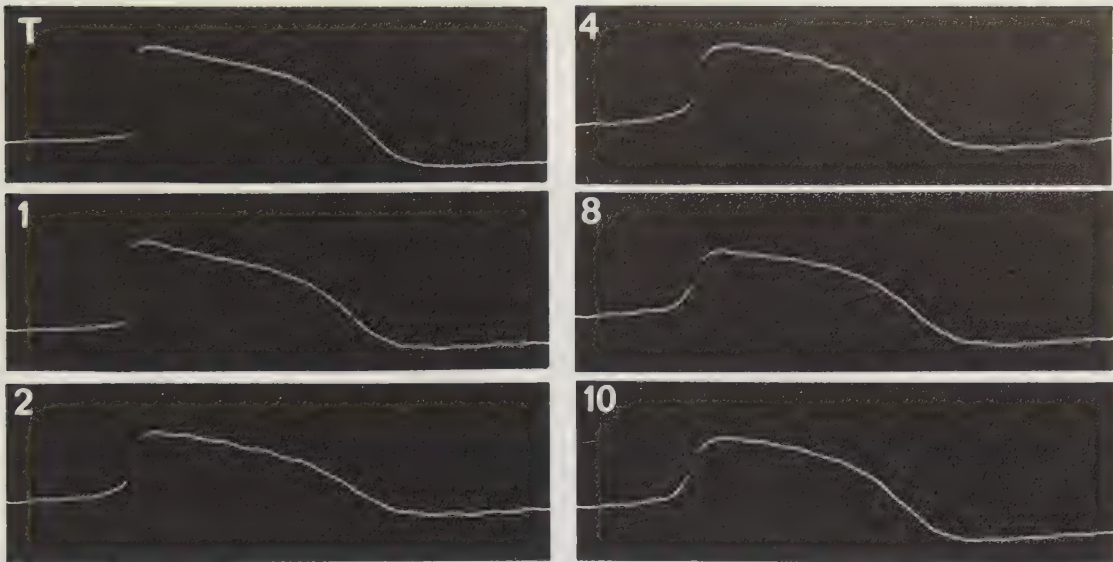
T. : Potentiels d'action dans le milieu normal.

Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

A



B

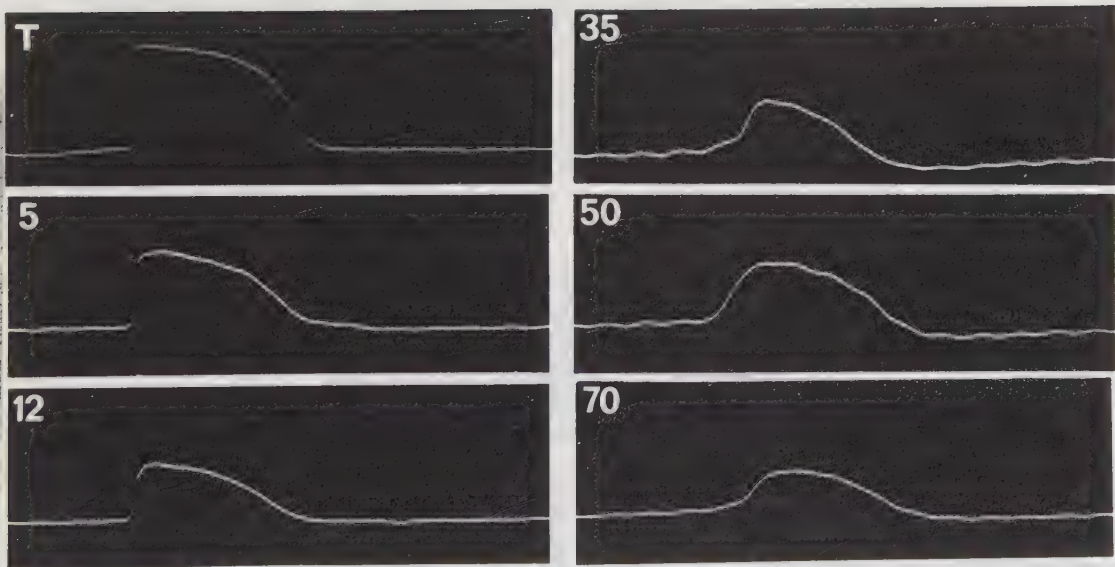


FIGURE 60

FIGURE 61

Action du TEA et des ions La^{3+} sur l'activité électrique de fragments ventriculaires de coeur d'embryons de 4 jours, cultivés pendant 8 jours.

A. - Action du TEA (2 mM). Allongement important de la durée du P.A.

B. - Action des ions La^{3+} (2 mM). L'activité spontanée est arrêtée après 5 minutes d'action environ.

T. : Activités électriques enregistrées dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

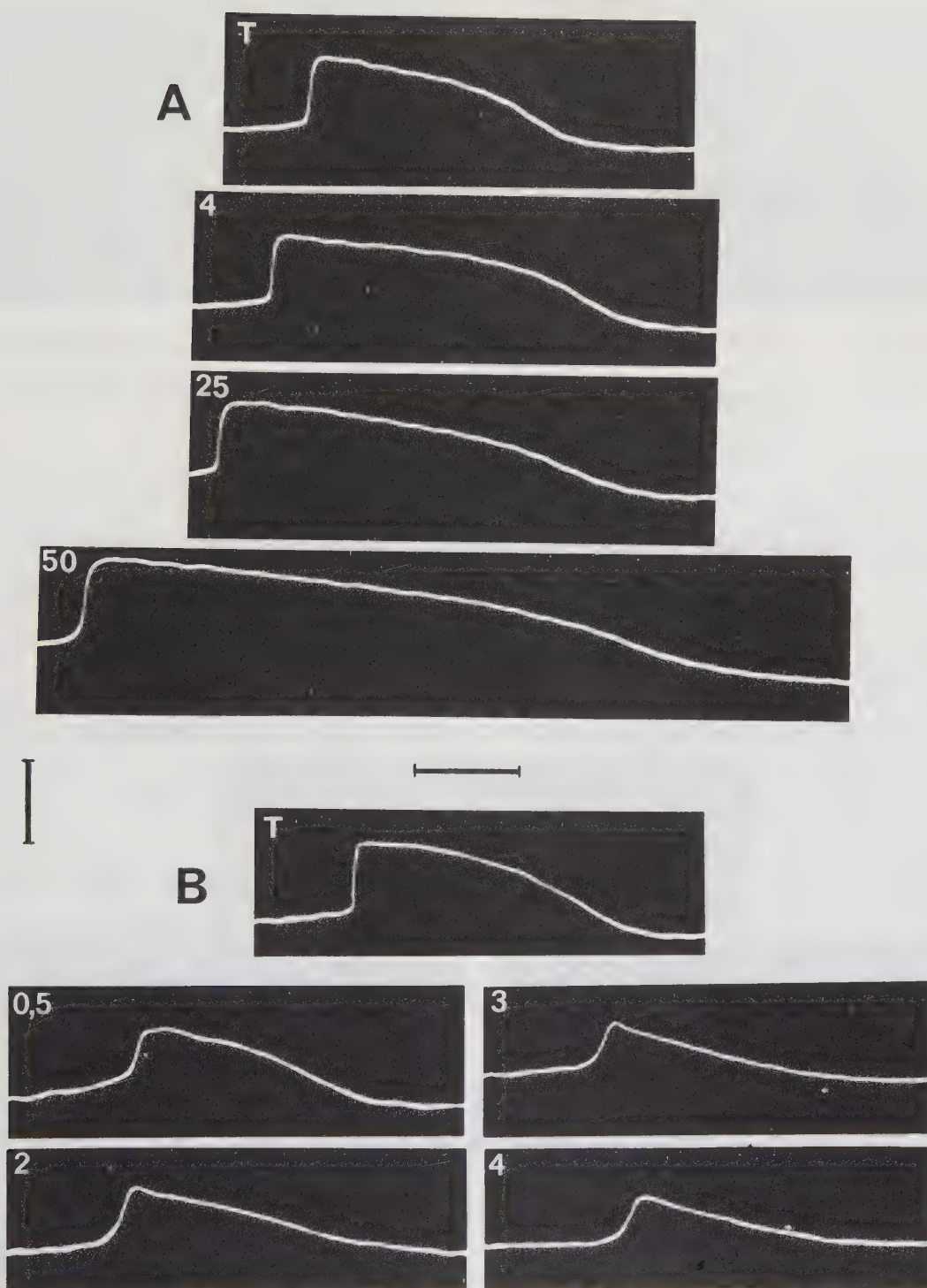


FIGURE 61

FIGURE 62

Action de la TTX et des ions Mn^{2+} sur l'activité électrique du tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque.

A. - Action de la TTX ($5 \cdot 10^{-6}$ g/ml).

La vitesse de la phase ascendante du P.A. n'est ralentie qu'après un très long temps d'action (45 minutes environ) et l'inhibiteur ne supprime pas l'activité spontanée.

B. - L'application d'un courant hyperpolarisant après 25 minutes d'action de la TTX augmente légèrement l'amplitude du P.A. Cet effet ne s'observe plus après un temps plus long.

C. - Action des ions Mn^{2+} (2 mM). Pour cette dose d'inhibiteur, l'activité est supprimée en moins de 3 minutes.

T. : Potentiels d'action enregistrés dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

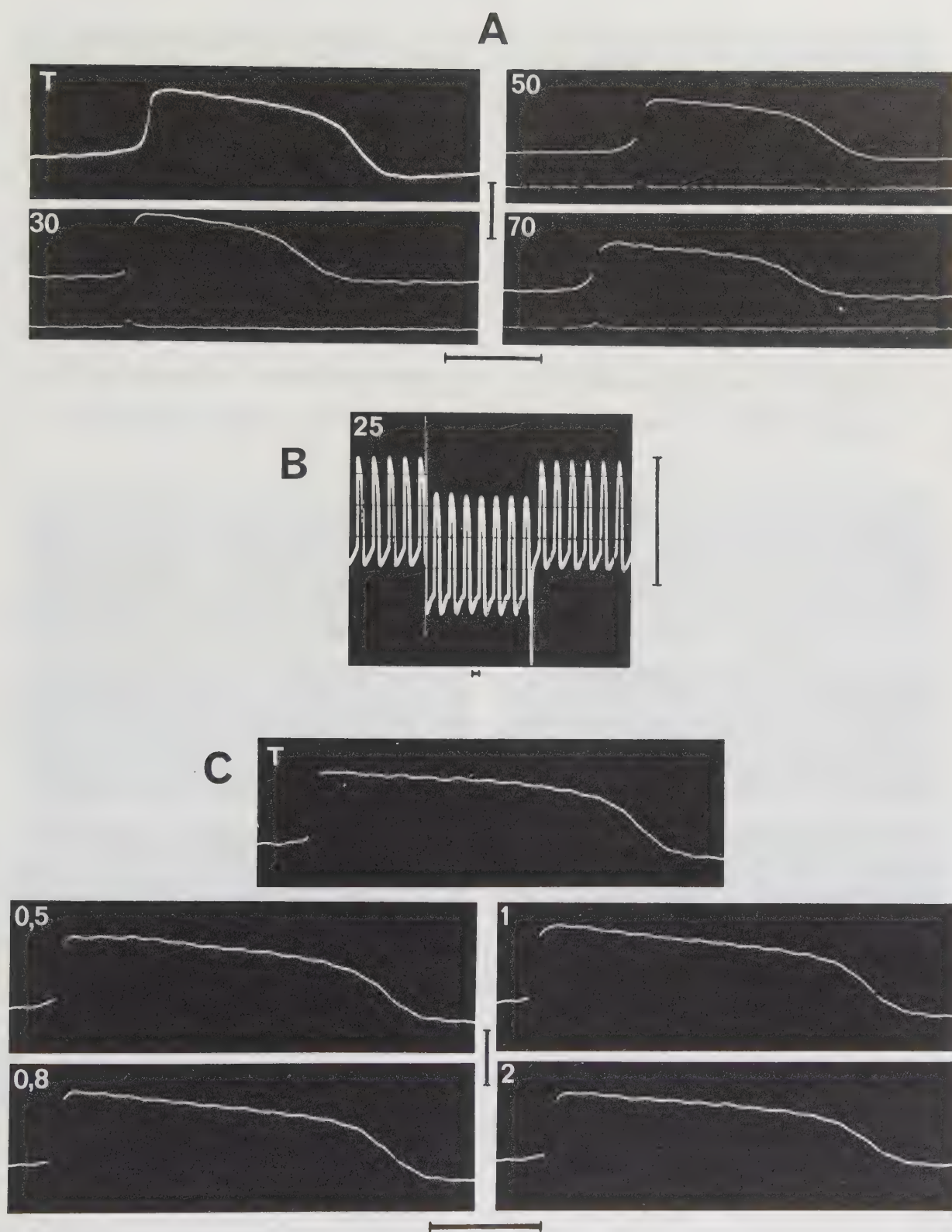


FIGURE 62

FIGURE 63

Action des ions La^{3+} sur l'activité électrique du tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme isolé de l'aire cardiaque.

L'arrêt de l'activité spontanée est obtenu très rapidement : en moins de 30 secondes pour une concentration de 1 mM (A.), en 1 minute environ pour une concentration de 0,5 mM (B.).

T. : Activité électrique enregistrée dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action de l'inhibiteur.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

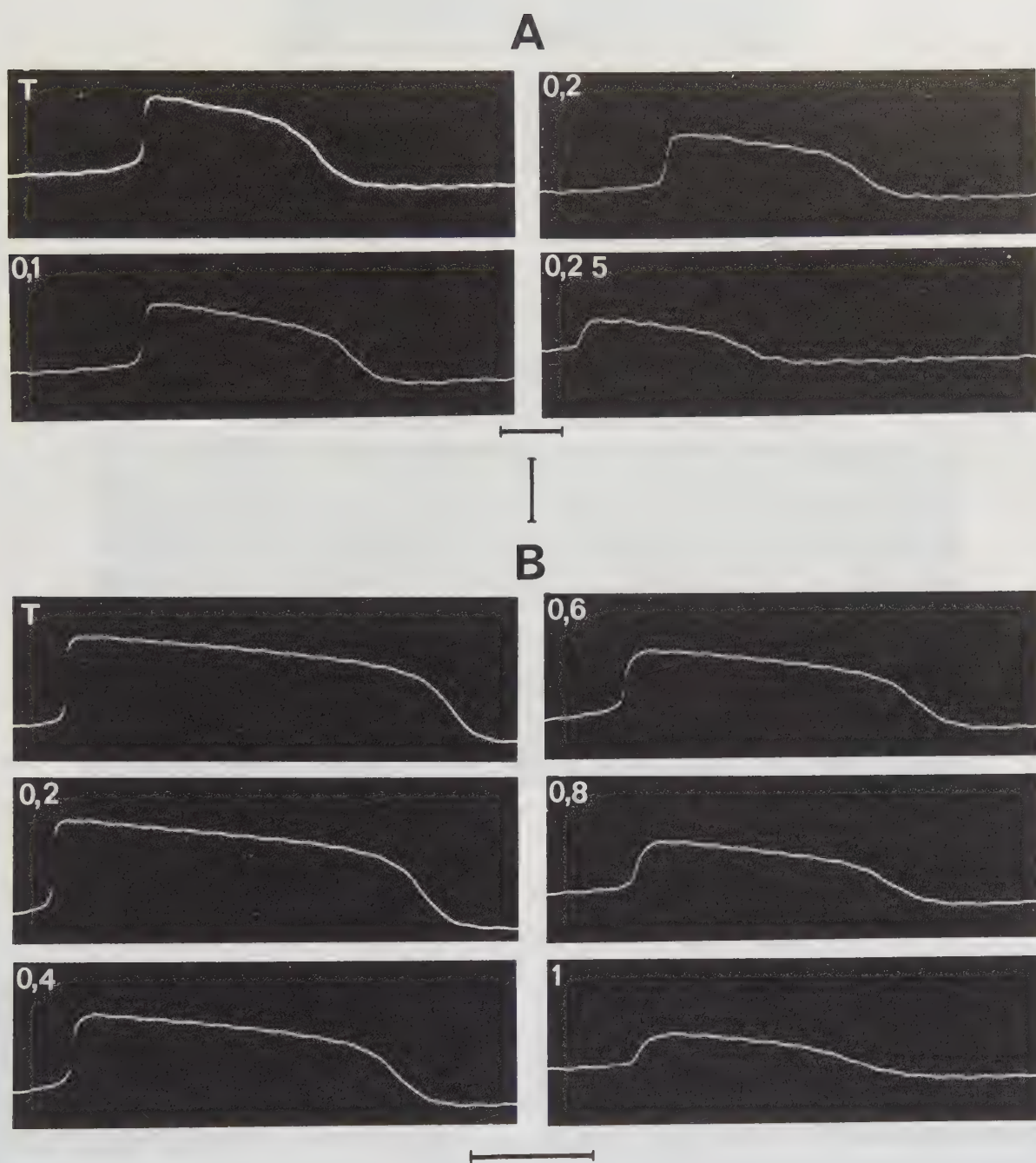


FIGURE 63

FIGURE 64

Action du TEA (2 mM) sur le tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque.

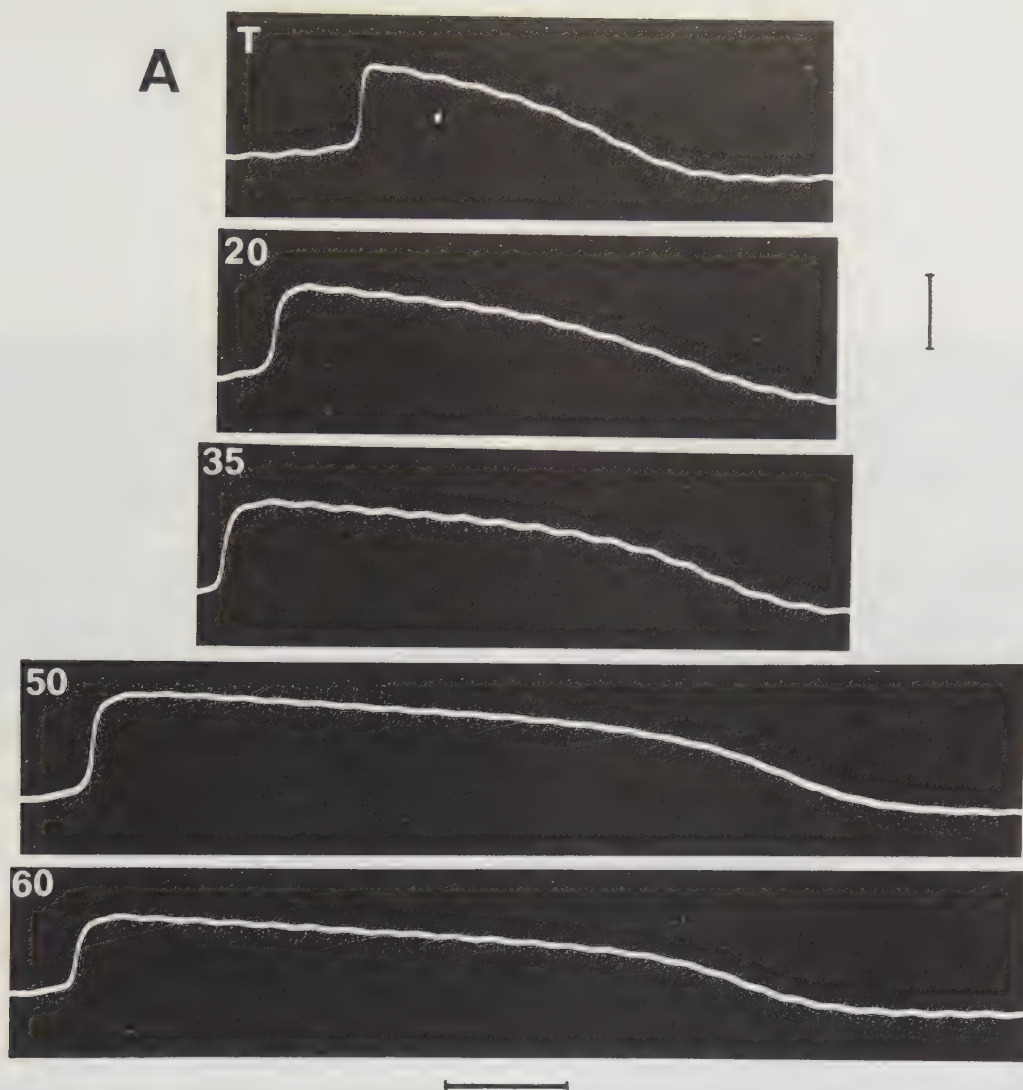
- A. - Modifications de l'activité électrique au cours d'une heure d'action de l'inhibiteur. La durée du P.A. est augmentée. Une diminution de l'amplitude du P.A. est observée à la fin de cette période.
- B. - Effets du TEA après plus d'une heure d'action : apparition d'oscillations du potentiel membranaire au cours de la repolarisation.

T. : Enregistrement de l'activité électrique dans le milieu normal.
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action de l'inhibiteur.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

A



B

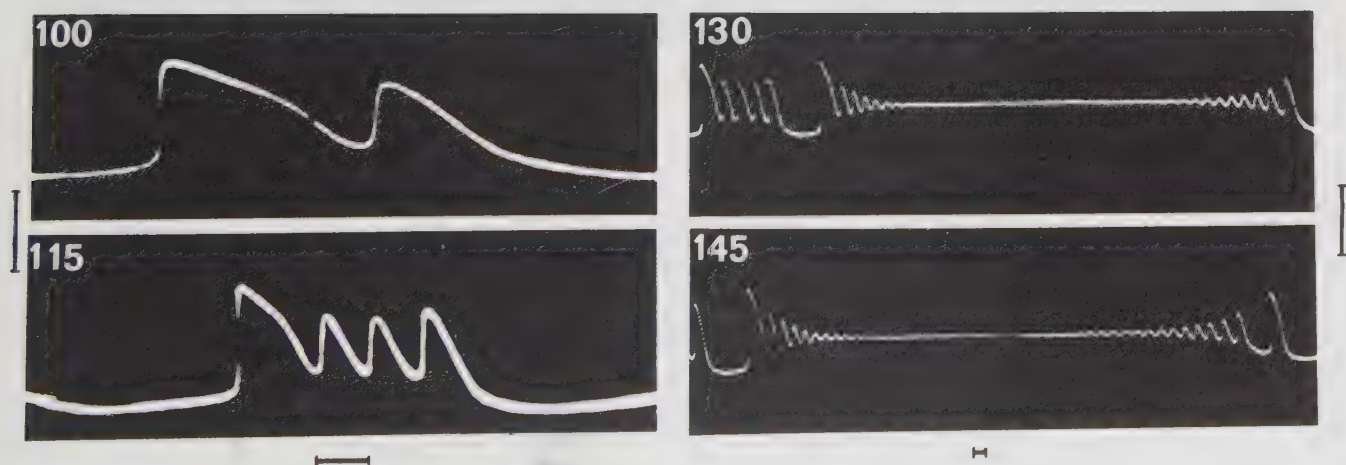


FIGURE 64

FIGURE 65

Action de la TTX et des ions Mn^{2+} sur l'activité électrique du tube cardiaque différencié en culture in vitro à partir de l'aire cardiaque présomptive.

A. - Action de la TTX ($5 \cdot 10^{-6}$ g/ml).

L'activité spontanée persiste, mais on observe un ralentissement de la phase ascendante du P.A.

B. - Action des ions Mn^{2+} (2 mM).

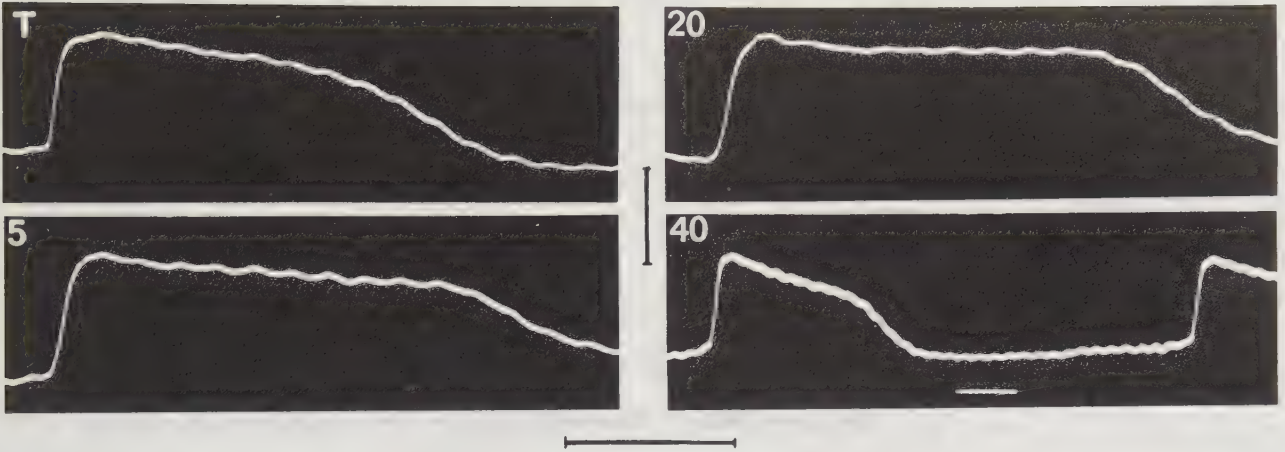
Malgré la diminution de l'amplitude du P.A. et le ralentissement de sa phase ascendante, l'activité spontanée persiste pendant environ 45 minutes.

T. : Activité électrique enregistrée en milieu normal
Les chiffres indiquent, en minutes, les temps d'action des inhibiteurs.

Calibrage horizontal : 100 ms

Calibrage vertical : 100 mV.

A



B

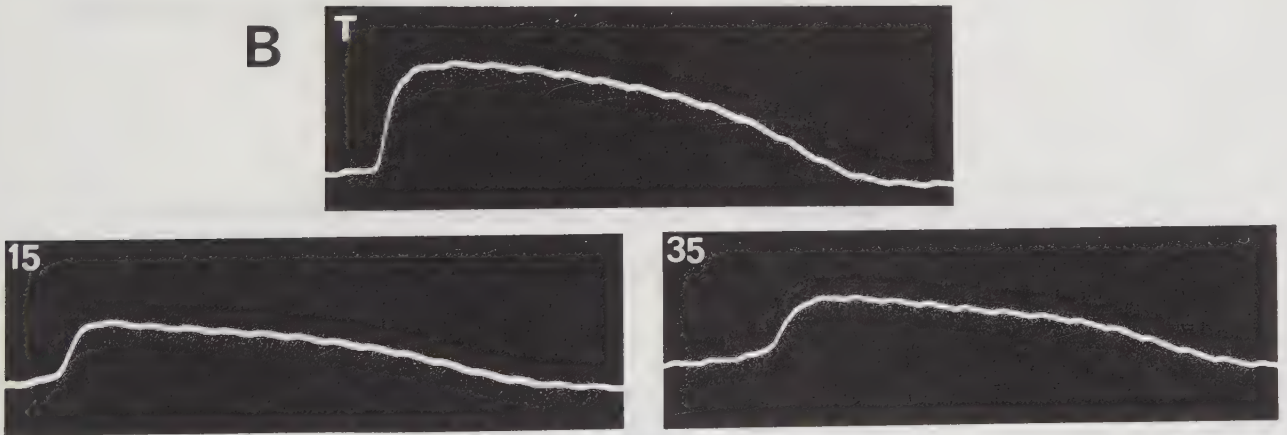


FIGURE 65

FIGURE 66

A. , B. , C. et D. - Modifications du P.M.R. (à gauche) sous l'influence de passages de courants (à droite) à différents stades du développement normal (2 , 4 et 19 jours) et dans le cas du tissu myocardique différencié in vitro à partir du mésoderme précardiaque (Més.)

E. - Relations courant - potentiel établies à partir des données ci-dessus.

Les propriétés rectificatrices de la membrane absentes dans le cas du myocarde différencié in vitro et au 2ème jour du développement normal, sont par contre présentes dès le 4ème jour de l'incubation chez l'embryon de poulet.

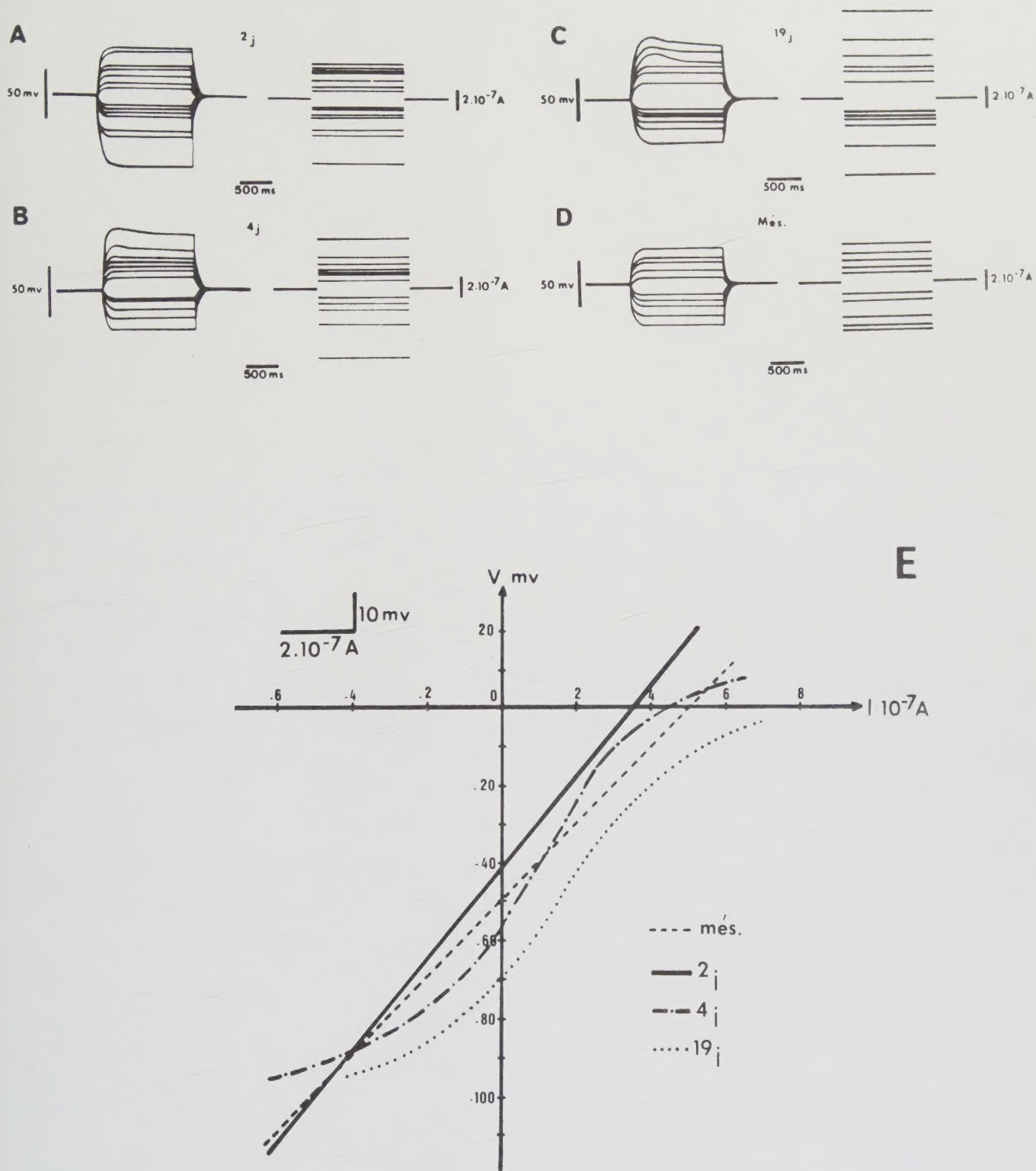


FIGURE 66

